



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**

**Scuola Politecnica e delle Scienze di Base**

**Dipartimento di Ingegneria Chimica dei Materiali e della  
Produzione Industriale**

**DOTTORATO DI RICERCA IN**

**TECNOLOGIE E SISTEMI DI PRODUZIONE**

**INDIRIZZO GESTIONE DEL RISCHIO E DELLA SICUREZZA**

**MODELLI DI ANALISI E GESTIONE DEL RISCHIO BASATI  
SUL CONCETTO DI “EFFETTO DOMINO”**

**Coordinatore**

Ch.mo Prof. ing. Luigi Carrino

**Candidato**

Ing. Pasquale Natale

**Tutor**

Ch.mo Prof. ing. Liberatina C. Santillo

## **1 INTRODUZIONE**

1.1 Motivazione della ricerca

1.2 RIR Rischi di Incidenti Rilevanti

1.3 La normativa Seveso

1.3.1 Lo scenario RIR in Campania

1.3.1 Le norme antincendio

1.3.2 D.M. 3 agosto 2015 – Testo unico Antincendio

1.3.3 Decreto del Presidente della Repubblica 1 agosto 2011, n. 151

1.3.4 Approccio Ingegneristico alla Sicurezza Antincendio

1.3.5 DECRETO 19 marzo 2015

1.3.6 DECRETO 21 ottobre 2015

1.3.7 DECRETO. 19 Agosto 1996

1.3.8 DECRETO 18 marzo 1996

1.3.9 DECRETO 26 agosto 1992

1.4 Il Fire Safety Engineering

## **2 I RISCHI PER LA SICUREZZA**

2.1 Il rischio d'AREA

2.2 I rischi naturali

2.3 Il Rischio Sociale

## **3. Metodologie e modelli nella Valutazione dei Rischi**

3.1 L'approccio classico: Metodi Predittivi

3.2 Modello Domino Effect

3.2.1 Il metodo Augustus

3.2.2 La metodologia DEA

3.2.3 Procedure per l'analisi dell'effetto domino

3.2.3.1 Metodologie per la valutazione dei rischi causati da eventi sismici

3.2.3.2 Procedure per l'analisi quantitative dei rischi di illuminamento

3.2.3.3 Algoritmo FREEDOM (FREquency Estimation of DOMino accidents)

3.2.3.4 *Metodologia Saaty per la Valutazione della vulnerabilità*

3.2.3.5 *Metodologia GIS per la definizione delle aree di rischio*

3.3 Analisi quantitativa (QRA)

3.4 Strumenti e software per lo studio dell'effetto domino

3.5 Le Funzioni Probabilità di danno e di propagazione

3.5.1 Definizione dello scenario

3.5.2 La distanza di suscettività

3.6 Diagramma di Pareto

3.7 Il Risk Management

## 4. IL MODELLO

4.1 *Un particolare caso applicativo dell'Effetto Domino*

4.2 Base del modello

4.2.1 Caso di Effetto domino da incendio esterno

4.3 Modello di gestione

4.3.1 Il SGSL BS OHSAS 18001:2007

4.3.2 Integrazione del modello di gestione

4.3.3 Utilizzo delle procedure integrate

5. Applicazione del modello

5.1 Determinazione dello scenario

5.2 Ipotesi di lavoro e Applicazione del modello

6. Conclusioni

6.1 I possibili sviluppi della ricerca

Bibliografia

Siti consultati

Appendici

Ringraziamenti

# 1 Introduzione

## 1.1 Motivazioni della ricerca

---

Volendo migliorare il livello di sicurezza durante le situazioni di emergenza che possono manifestarsi in luoghi pubblici od in luoghi di lavoro con una elevata presenza umana, c'è la necessità di migliorare la progettazione dei sistemi di evacuazione. Per raggiungere tale obiettivo non è sufficiente attenersi soltanto a regole dettate da codici o manuali, ma è necessario avvalersi di strumenti di simulazione e di modelli di gestione, atti ad ottenere un calcolo più realistico dell'escalation dell'evento ed ottimizzare l'evacuazione.

In letteratura si possono trovare numerosi modelli e tools impiegati per fornire un supporto tecnico alla progettazione (nel corpo della ricerca ne evidenzierò alcuni), tuttavia non ci sono tentativi documentati di implementazione dello studio dell'effetto domino nella gestione delle emergenze anche per attività non classificate come RIR.

In questa ricerca si è inteso adottare un modello di interpretazione e gestione di un fenomeno incidentale (qualunque esso sia) che, partendo da un evento primario, si estende e si diffonde (e in alcuni casi si amplifica) coinvolgendo elementi non direttamente e immediatamente ricollegabili all'evento iniziale. In particolare lo studio intende verificare come questo modello, unitamente ad altri già ampiamente adottati e verificati, possa descrivere il comportamento della folla durante un evento catastrofico e modellizzare un sistema per gestire in maniera ottimale l'evacuazione.

In particolare saranno proposti i modelli utilizzati per la valutazione dell'effetto domino nell'accezione metodologica che prescinde dalla applicazione normativa che lega il suo utilizzo ai soli rischi rilevanti, pur partendo dalla loro analisi per ricavarne le informazioni indispensabili alla costruzione del modello di gestione proposto.

La ricerca vuole introdurre un interessante filone dello studio dei modelli di valutazione dei rischi in cui l'effetto a cascata si riverbera non tanto o soltanto sugli impianti o sulle macchine ma soprattutto sull'ambiente inteso anche come popolazione coinvolta. Il modello potrebbe utilmente essere adottato per valutare e simulare una situazione di evacuazione in caso di un evento naturale come terremoti o eruzioni, ad esempio, e definire le vie di evacuazione ottimali valutate.

Per questo motivo la ricerca parte dall'introduzione della normativa Seveso che ha innescato tutti gli studi recenti sui RIR (Rischi di Incidenti Rilevanti) per poi concentrarsi sui modelli adottati per lo studio degli stessi. Di seguito si sposta l'attenzione sulle norme tecniche

adottate per la progettazione antincendio, ed in particolare per luoghi densamente affollati, che poi andranno a definire lo scenario su cui il modello sarà tarato.

Per completezza lo studio prevede anche una parte dedicata ai modelli utilizzati per la valutazione dei rischi per evidenziare, se ce ne fosse bisogno, come l'effetto domino non risulti estraneo.

Si è portato in evidenza anche alcune importanti applicazioni informatiche che in maniera utile e puntuale, riescono a prevedere l'evoluzione del fenomeno attraverso l'applicazione di alcuni algoritmi basati sul calcolo statistico.

Nella parte finale della ricerca si è inteso mostrare le potenzialità di un sistema di gestione che includa nella sua architettura logica l'approccio Domino Effect.

Le ricerca non voleva essere esaustiva rispetto all'impiego di questi modelli alla gestione delle emergenze, ma si è inteso stimolare lo sviluppo di nuovi paradigmi gestionali che tengano conto degli effetti perturbativi e di amplificazione di un incidente: in prospettiva si potrebbe implementare un sistema con logica di Swarm Intelligence con l'effetto domino e valutarne le ripercussioni su vasta scala in caso di eventi catastrofici non imputabili a RIR.

Con questo contributo si è voluto proporre un modello "beta" per la gestione delle emergenze che preveda la presenza di un Effetto Domino che di fatto aumenta il grado di sicurezza la normale esecuzione dei piani di emergenza.

## **1.2 RIR Rischi di incidenti rilevanti**

---

*In alcuni casi, un evento può cambiare la storia... in altri casi la storia cambia gli eventi.*

Ogni viaggio ha il suo punto di partenza, così come lo ha ogni ricerca: il nostro punto di partenza è stato un evento catastrofico che ha avuto il potere, come in altri esempi storici, di condizionare il futuro.

**La Nube di  
Seveso**

Era il 10 luglio del 1976 e presso la ditta ICMESA di Meda (una industria chimica che produceva fertilizzanti, battericidi, pesticidi, di proprietà della Givaudan - Hoffmann - La Roche, la cui casa madre aveva sede in Svizzera), in provincia di Milano, si verificò un grave incidente in un reattore in cui si produceva triclorofenolo per la sintesi dell'esaclorofene.

Non si sa con certezza cosa accadde ma con buona probabilità, l'evento scatenante deve essere attribuito, così come pensano diversi periti, all'insufficiente controllo del sistema di raffreddamento dopo l'arresto abituale prefestivo della produzione e all'innescò di reazioni esotermiche secondarie. Come spesso accade, un evento del tutto improbabile assunse effetti devastanti: il reattore non esplose ma, dato che lo sfiato del disco di rottura dava direttamente in atmosfera e non erano stati installati sistemi di raccolta e distruzione dell'eventuale rilascio di sostanze pericolose, né scaturì una nube di vapori che rapidamente si diffuse su un'ampia zona circostante. La fabbrica si trovava a Meda, tuttavia il vento che spirava da nord verso sudest, fece sì che la nube tossica non investisse Meda ma i Comuni di Seveso e Cesano Maderno.

Successivamente, mediante analisi effettuate a seguito dei primi casi di infiammazioni della pelle, soprattutto nei bambini residenti nelle zone limitrofe allo stabilimento, fu fatta luce sulla reale natura della nube emessa dal reattore: si stabilì che essa conteneva anche un certo quantitativo di TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina). A seguito dell'incidente, 447 persone soffrirono di ustioni, 179 - di cui molti bambini - subirono una forma di intossicazione con sviluppo di cloracne di difficile cura, 34 patirono entrambe le patologie. Gli studi epidemiologici a lungo termine rilevarono un aumento dei tumori, in particolare, nelle donne: aumento dei tumori di cistifellea e dotti biliari, mielomi multipli e leucemie, negli uomini: aumento dei linfomi non Hodgkin.

Quell'evento sconvolse l'opinione pubblica e in seguito a questo incidente, gli stati dell'Unione Europea decisero di dotarsi di una politica comune in materia di prevenzione dei grandi rischi industriali a partire dal 1982 (sei anni dopo).

Nacque così la Direttiva 82/501/CEE, nota come direttiva Seveso, che imponeva agli Stati membri di identificare i propri siti a rischio.

Nel tempo, assecondando l'evoluzione tecnologica, politica ed economica, la Direttiva si è ampliata, inglobando al suo interno il controllo dei rischi di incidenti rilevanti 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.

In Italia la normativa vigente in casi di Rischi da Incidenti Rilevanti, il D. Lgs. 334/99 e SS.MM.II., si applica a un ben definito gruppo di aziende in cui, un evento incidentale, può provocare la diffusione dell'effetto e la sua propagazione.

Sia la direttiva Seveso che il Decreto Legislativo 334/99, hanno favorito lo sviluppo di metodi di valutazione e superamento del rischio legato agli incidenti rilevanti basato sulla teoria dell'effetto domino. Con questo particolare approccio si intende considerare tutti gli effetti generati da un incidente (evento scatenante) che innesca una serie di ulteriori incidenti, anche a notevole distanza e che può rappresentare un rischio sia per l'area in cui si manifesta, sia per l'ambiente e le persone.

Pe tale motivo si è ritenuto utile sfruttare i numerosi studi e i modelli matematici già utilizzati per valutare e definire i meccanismi che regolano il DE (Domino Effect) , così come consigliato dallo stesso D. Lgs. 81/08, nel senso più generale e non solo per le attività ricadenti nella Seveso.

Nella ricerca si è cercato, ampliando lo scenario e generalizzandolo, di sviluppare metodologie per la valutazione del rischio tenendo conto che i "bersagli" più esposti 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).

Chiaramente la nostra attenzione è stata posta sul target "uomo", individuando metodi adatti alla valutazione del rischio legato a quest'ultimo.

Partendo dal principio generale che un evento singolo può innescare una serie di eventi che, se lasciati privi di controllo, possono incrementarsi finì a diventare inarrestabili, si è pensato di utilizzare il modello che interpreta l'effetto così detto "domino" o "knock-on", al caso di una moltitudine di persone coinvolte in eventi catastrofici. Partenendo da un evento primario o di innesco: la propagazione dell'effetto esercitato dal panico sull'intera popolazione, molto probabilmente, può annullare i benefici indotti dall'adozione di piani di sicurezza "statici".

La presente ricerca intende quindi illustrare i principali nodi di sviluppo delle metodologie legate alla valutazione e gestione dei rischi prossemici dovuti all'effetto domino in casi di

incidenti in ambienti affollati. La ricerca ha quindi cercato di superare il limite legislativo che vuole una valutazione dell'effetto domino solo per quel che riguarda i rischi rilevanti afferenti alla direttiva Seveso, e di proporre una metodologia di analisi e valutazione dei rischi e della loro successiva gestione, che si allarghi anche ad scenari incidentali in cui l'effetto domino può innescarsi. L'obiettivo è quello di costruire una nuova metodologia per la valutazione dei rischi che combini la forza di un approccio sia deterministico che risk-based, finalizzato alla determinazione del comportamento umano in caso di tali eventi.

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

*Definizione del rischio*

Possiamo definire il rischio come una combinazione tra incertezza (probabilità di accadimento) e danno (magnitudo dell'evento), oppure come 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. Ciascuno dei precedenti è equivalentemente valido.

Possiamo utilizzare la seguente classificazione:

*Classificazione dei rischi*

**Rischio convenzionale:** è insito a 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, usando la definizione data dal 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”.

Il rischio è, quindi, la probabilità che un elemento, una persona o un ambiente 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. In letteratura è stato introdotto il concetto di “gravità” (severity), come combinazione di frequenza e intensità. L'obiettivo è stato, perciò, quello di utilizzare il metodo di valutazione dell'effetto domino sull'ambiente circostante e in particolare usando il target “individuo” quale bersaglio e considerando l'effetto emotivo.



Il Presupposto su cui si basa la metodologia è che la probabilità o la frequenza del verificarsi di un evento dannoso è determinata da due componenti:

- la frequenza dell'evento iniziale
- l'affidabilità ed efficienza dei sistemi di sicurezza che prevengono il verificarsi dello scenario.

Per individuare le possibili cause e le misure di sicurezza e quantificarne il loro contributo alla frequenza dell'evento critico, è assolutamente indispensabile identificare i rischi.

La qualità della gestione dell'efficienza e dell'affidabilità dei sistemi di sicurezza contribuisce ad influenzarli. 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. Il sistema di gestione della sicurezza determina tutti questi aspetti. Quest'ultimo, però, può essere efficiente solo se i dipendenti hanno una completa comprensione di come possono interagire con le misure di sicurezza. Da qui la necessità di coinvolgere i dipendenti nelle decisioni e di formarli e informarli sulle procedure poste in essere per la loro sicurezza.

### 1.3 La Normativa SEVESO

---

*La Direttiva  
1982/501/CE o  
Seveso I*

Come già accennato nell'introduzione, nel 1976 il gravissimo incidente occorso alla ditta ICMESA di Meda, che devastò il territorio di Seveso, causò la formazione di una nube di diossina che investì tutta la città e dintorni; lo shock per quell'evento, 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).

Con una pachidermia unica, l'Italia che era stato teatro di uno dei disastri ambientali più devastanti del secolo (paragonabili solo a quelli di Chernobyl e Fukushima), ha recepito la direttiva europea sei anni dopo la sua emanazione.

*La Direttiva  
1996/82/CE o  
Seveso II*

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.

*La Direttiva  
2003/105/CE o  
Seveso III*

A seguito di alcuni incidenti rilevanti (Baia Mare –Romania 30 gennaio 2000, Enschede – Olanda 13 maggio 2000, Tolosa - Francia, 21 settembre 2001) è stata emanata la direttiva 2003/105/CE, che ha apportato alcuni correttivi alla direttiva Seveso II. 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 il D.Lgs. 334/99.

In particolare:

- è stato ampliato il campo di applicazione

- è stato modificato l'Allegato I, parte 1 per quanto riguarda: nitrato di ammonio, nitrato di potassio, sostanze cancerogene e prodotti petroliferi
- è stato modificato l'Allegato I, parte 2, categorie di sostanze pericolose: classificazione delle sostanze esplosive e nuove soglie per le sostanze pericolose per l'ambiente
- formazione e consultazione del personale di ditte terze
- rafforzamento del diritto della popolazione interessata all'informazione sulle misure di sicurezza
- ulteriore attenzione all'urbanizzazione

Le ultime novità introdotte possono riassumersi:

- 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.

Nel contempo, il campo di applicazione della direttiva è ampliato e semplificato. La direttiva si applica ai soli stabilimenti in cui sono presenti, o in cui si ritiene si possano generare in caso di incidente, sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle indicate in uno degli allegati, e le sostanze specificate sono state ridotte da 180 a 50, rispetto alla direttiva Seveso I; tuttavia sono accompagnate da un elenco di categorie di sostanze, che in pratica tende ad ampliare il campo di applicazione.

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 alla 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 recepiva 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 ricreative 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.

### 1.3.1 Lo scenario RIR in Campania

Analizzando i dati raccolti dal Ministero del Lavoro ovvero l'Inventario Nazionale degli stabilimenti suscettibili di causare incidenti rilevanti ai sensi dell'art. 15, comma 4 del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334 e s.m.i., possiamo affermare che il rischio di incidenti rilevanti è sicuramente meno popolare rispetto ad altri la cui notorietà ha portato allo sviluppo di tecniche di simulazione e valutazione più avanzate.

In effetti i rischi RIR sono statisticamente poco probabili ma hanno effetti notevoli: nella storia industriale, o almeno da quando si ha una registrazione di tali eventi, si registrano ad oggi 224 casi di RIR. Se consideriamo il numero di aziende e gli anni di osservazione, possiamo certo dire che il numero di questi eventi non è tanto elevato. Tuttavia gli effetti che hanno su cose e persone sono quasi sempre notevoli.

*Le aziende  
Rischio  
Rilevante in  
Campania*

Volendo soffermarci per semplicità alle sole aziende operanti in Campania, queste possono essere così raccolte secondo l'ultimo rilevamento dell'ARPSC datato 2014:

**Tabella 1 Elenco delle attività RIR in Campania, anno 2014 secondo ARPSC**

Provincia	Località	Cod. Mini.	Azienda	Attività
Avellino	Altavilla Irpina – Bosco del Monaco	DQ006	ALCAGAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Avellino zona industriale ASI	NQ038	ME.RE.S. S.R.L. MERIDIONALE RESINE	Stabilimento chimico o petrolchimico
	Monteforte Irpino	DQ007	CAPONE SRL	Deposito di gas liquefatti
	Torella dei Lombardi C.da Lenze	NQ095	CAMPANIA TEPOR SRL	Deposito di gas liquefatti
Benevento	Benevento C.da SAN CHIRICO	NQ026	GARGANO GAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Castelfranco in Miscano Ginestra degli Schiavoni	NQ108	TERNA RETE ITALIA S.P.A.	Altro
	Pannarano Bosco Caccella	NQ100	Piomagia Srl	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Pontelandolfo Pianelle	NQ074	SIA GAS SRL	Deposito di gas liquefatti
Caserta	Camigliano	NQ085	ZIPPO GAS SNC	Deposito di gas liquefatti
	Casal di Principe	NQ053	AVERSANA PETROLI SRL	Deposito di oli minerali
	Cesa	DQ023	ENERGAS SPA GAFFOIL S.N.C. DI FERRARA ASSUNTA &C.	Deposito di gas liquefatti
	Curti	NQ057	DOMIDIANA GAS SRL	Deposito di oli minerali
	Grazzanise BREZZA DI GRAZZANISE	NQ050	SOL SPA	Deposito di gas liquefatti
	Marcianise	DQ021	NUOVA DIANA GAS SRL	Produzione e/o deposito di gas tecnici
	Mondragone	NQ086	IGAT - INDUSTRIA	Deposito di gas liquefatti

Provincia	Località	Cod. Mini.	Azienda	Attività
	Pignataro Maggiore ZONA INDUSTRIALE ASI"VOLTURNO NORD	DQ011	GAS TECNICI SPA	Produzione e/o deposito di gas tecnici
	Presenzano	NQ096	VULCANO GAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Teano CROCELLE	NQ071	PIROTECNICA TEANESE SRL	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Villa Literno Casina Grande	NQ101	PERFETTO SRL	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Carinaro zona ASI	NQ079	AVERSANA PETROLI SRL	Deposito di gas liquefatti
	Marcianise zona industriale	NQ070	ECO - BAT SPA	Impianti di trattamento/Recupero
Napoli	Afragola	NQ088	ISO SRL	Deposito di gas liquefatti
	Agerola -iubana	NQ072	M EDAGLIA MATTEO	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Bacoli	DQ025	VINGAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Boscotrecase	DQ015	LUMAGAS	Deposito di gas liquefatti
	Caivano Pescarola	NQ089	PPG INDUSTRIES ITALIA SRL	Stabilimento chimico o petrolchimico
	Casalnuovo di Napoli Tavernanova	NQ060	RA.M.OIL SPA	Impianti di trattamento/Recupero
	Frattamaggiore	NQ083	VESUVIO GAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Giugliano in Campania PONTE RICCIO	NQ037	ENEL PRODUZIONE SPA	Centrale termoelettrica
	Napoli BARRA	NQ054	GOIL PETROLI SPA	Deposito di oli minerali
	Napoli	NQ008	KUWAIT PETROLEUM ITALIA-KUPIT-SPA	Deposito di oli minerali
	Nola	NQ099	S.C.E. SOCIETA CANTONE ENERGIA SRL	Deposito di gas liquefatti
	Palma Campania	NQ047	LINCAR GAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Poggiomarino	NQ036	NAPOLETANA CALOR SRL	Deposito di gas liquefatti
	Poggiomarino Percoche	NQ092	DITTA BIFULCO LORENZO SALVATORE	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Pompei	NQ058	MERIDIONAL GPL SRL	Deposito di gas liquefatti
	Qualiano	NQ018	BA.CO.GAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Qualiano PONTE RICCIO	NQ028	IMPE SPA INDUSTRIA MERIDIONALI POLIURETANI ESPANSI	Stabilimento chimico o petrolchimico
	Sant'Antimo	NQ091	PERFETTO SRL	Stabilimento chimico o petrolchimico
	Saviano	NQ081	SO.VE.GAS SPA	Deposito di gas liquefatti
	Terzigno	NQ027	GIM GAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Torre Annunziata molo di levante del porto	NQ064	I.SE.CO.L.D. SPA	Deposito di oli minerali
	Torre del Greco	NQ084	GEAGAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Caivano - loc.Gaudiello	NQ011	ULTRAGAS CM SPA	Deposito di gas liquefatti
	Castello di Cisterna	NQ024	SAMAGAS ITALIA SRL	Deposito di gas liquefatti
	Giugliano in Campania SCAFAREA	NQ065	FIREWORKS SUD SNC DI GIOVANNI LIPORI & C	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Napoli	NQ007	ITALCOST SRL	Deposito di gas liquefatti

Provincia	Località	Cod. Mini.	Azienda	Attività
	Napoli	NQ002	ENERGAS SPA	Deposito di gas liquefatti
	Napoli	NQ001	ENI SPA - DIVISIONE REFINING & MARKETING	Deposito di gas liquefatti
	Napoli	NQ010	PETROLCHIMICA PARTENOPEA SPA	Deposito di gas liquefatti
	Napoli	NQ069	KUWAIT PETROLEUM ITALIA-KUPIT-SPA	Deposito di oli minerali
	Napoli	DQ010	ESSO ITALIANA SRL	Deposito di oli minerali
	Nola Polvica	NQ097	ALENIA AERMACCHI SPA	Altro
<b>Salerno</b>	Albanella BORGIO S.CESAREO	NQ032	DIPOGAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Angri	NQ051	POMPEANGAS SAS DI CATELLO ALLEGRO & C.	Deposito di gas liquefatti
	Battipaglia Z.I. Battipaglia	NQ110	LOGISTICA PELLEGRINO SRL	Deposito di fitofarmaci
	Cava de' Tirreni S. LUCIA	NQ044	G. & O. DE PISAPIA ROBURGAS SPA	Deposito di gas liquefatti
	Giffoni Sei Casali	NQ090	EUROGAS ENERGIA SRL	Deposito di gas liquefatti
	Mercato San Severino CERRELLA-CIORANI	NQ055	VIVIANO PIROTECNICA INTERNAZIONALE Srl	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Padula PADULA SCALO	DQ008	DEPORRAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Rocadaspide FONTE	NQ061	FONTEGAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Salerno	DQ022	SOL SPA	Produzione e/o deposito di gas tecnici
	San Cipriano Picentino Campigliano zona ind.	NQ063	PETROLCHIMICA SUD SRL	Deposito di gas liquefatti
	San Giovanni a Piro TEMPA DEL FORNO	NQ046	TEX di Balbo Mario	Produzione e/o deposito di esplosivi
	Buccino AREA INDUSTRIALE	NQ042	Chemiplastica Specialties Spa	Stabilimento chimico o petrolchimico
	Eboli Z. I. PEZZAGRANDE	NQ049	ELLEPIGAS SUD SRL	Deposito di gas liquefatti
	Padula	NQ012	ULTRAGAS CM SPA	Deposito di gas liquefatti
	Pagani	NQ029	DINAGAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Sala Consilina Contrada Ischia	NQ080	DIANGAS SRL	Deposito di gas liquefatti
	Siano ZONA IND.LE	NQ043	FA.CO.M. SRL	Deposito di gas liquefatti

Sono state intercettate ben 71 aziende censite dal Ministero per la loro pericolosità e che ricadano negli obblighi della Seveso ter.

Da una più attenta analisi si deduce che la maggior parte dei siti è legata al trattamento o stoccaggio di materiale petrolifero in forma liquida o gassosa.

Quasi nessuno studio presente in letteratura si preoccupa di identificare scenari ibridi rispetto alla normativa Seveso e nessuno ritiene utile adottare il modello di gestione dei rischi rilevanti quale schema generale.





#### *1.4 Le norme antincendio*

---

In letteratura possiamo trovare diversi studi in cui l'effetto catastrofico legato alla propagazione a cascata è documentato e valutato matematicamente e fisicamente. Gli eventi documentati e riportati in appendice per 225 casi noti di RIR, evidenziano come il 57% di questi siano dovuti all'Effetto Domino, e il 43% ad incendi. Lo stesso studio ci porta a dire che il 35% di questi eventi legati all'Effetto Domino si sviluppano in magazzini, mentre il 28% in aziende di processo. Inoltre, la sequenza incidentale vede esplosione -> Incendio per il 27,6%, incendio -> esplosione per il 27,5% e incendio->incendio per il 18 %<sup>2</sup>. I dati ci danno ragione sul fatto che il rischio incendio, al di là di altre considerazioni, rappresenta una prepotente percentuale di accadimento.

Si aggiunga che non tutti gli incidenti dovuti ad effetto domino sono censiti in quanto spesso sfuggono ad una analisi e finiscono per apparire conseguenza diretta di un incidente e non conseguenza di altri eventi.

L'attenzione per il rischio incendio in Italia è sicuramente alto e le norme legali e tecniche al riguardo sono numerose e sempre in aggiornamento.

I casi per cui vorremmo adottare un SGSA che sfrutta la logica del Domino Effect, sono quelle in cui la presenza di una popolazione risulta significativa ai fini delle esigenze di prevenzione e protezione; possiamo ritenere utili le norme relative a:

- ospedali e case di cura
- metropolitane
- stadi, teatri e luoghi di spettacolo
- scuole

Va da sé che la scelta di queste attività è subordinata alla sola presenza dei possibili coinvolti e non dai carichi di incendio o altri aspetti legati al rischio incendio.

---

<sup>2</sup> The Assessment of Risk Caused by Fire and Explosion in Chemical Process Industry: A Domino Effect-Based Study -Farid Kadri, Eric Chatelet, Patrick Lallement (2013) Journal of Risk Analysis and Crisis Response, Vol. 3, No. 2 (August 2013), 66-76

### ***1.4.1 D.M. 3 agosto 2015 – Testo unico Antincendio***

---

***Testo unico per  
la  
progettazione  
antincendio***

Di recente è stato promulgato il D.M. 3 agosto 2015-Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139..

Alcune attività, per la loro natura e interesse, non possono non avere specifiche normative di riferimento; la difficoltà che incontra il normatore è quello di poter utilizzare uno strumento univoco per poter individuare le criticità di un determinato impianto industriale o civile.

Va inoltre ricordato che le responsabilità affidate ai professionisti antincendio hanno richiesto necessariamente l'aggiornamento dei corsi di formazione professionali, avviati con la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale del decreto del Ministro dell'Interno 5 agosto 2011. L'aggiornamento continuo è oggi una condizione fondamentale affinché il professionista possa espletare, anche sulla base di nuovi programmi formativi, il proprio ruolo in materia di sicurezza che richiede competenze sempre più specialistiche.

Sulla base e sulla scorta di tale necessità contingente è nato il D.M. 3 agosto 2015, con l'ambizioso obiettivo di inquadrare in un unico testo organico e sistematico le disposizioni di prevenzione incendi applicabili a tutte le attività soggette ai controlli dei Vigili del fuoco alla stregua del D.lgs. 81/08; inoltre fornendo strumenti di progettazione semplici, versatili ed accettati a livello internazionale, in grado di individuare le soluzioni tecniche necessarie.

Per poter approcciare al discorso della progettazione antincendio, sarebbe utile fare riferimento alla norma UNI CEI EN ISO 13943 “Sicurezza in caso di incendio – Vocabolario”, per comprendere le definizioni contenute nelle norme tecniche.

I diversi allegati tecnici al D.M. 3 agosto 2015, riportano le seguenti regole tecniche:

- **la regola tecnica orizzontale (RTO):** la somma dei criteri ed i metodi che consentono di determinare le misure di sicurezza antincendio per tutte le attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco;
- **le regole tecniche verticali semplificate (RTV):** rappresentano le specifiche misure integrative per alcune delle attività civili e commerciali, quali uffici, autorimesse ecc., nonché per quelle in applicazione delle recenti leggi approvate su strutture sanitarie, scuole e strutture turistico-ricettive esistenti.<sup>3</sup>

Continuando nella disamina del D.M.3 agosto 2015 possiamo vedere che questo si compone di quattro sezioni che disciplinano complessivamente l'intera materia antincendio.

In particolare, le prime due sezioni (Generalità e Strategia antincendio) introducono le nuove regole generali applicabili per la progettazione antincendio delle attività soggette (RTO),

---

<sup>3</sup> D.M.3 agosto 2015

mentre la terza sezione (RTV) prevede le specifiche disposizioni, integrative a quelle delle regole generali, applicabili alle attività soggette ivi disciplinate.

Pertanto, l'insieme delle prime tre sezioni costituisce il nuovo quadro normativo di riferimento completo ed esaustivo per la progettazione antincendio di tutte le attività soggette.

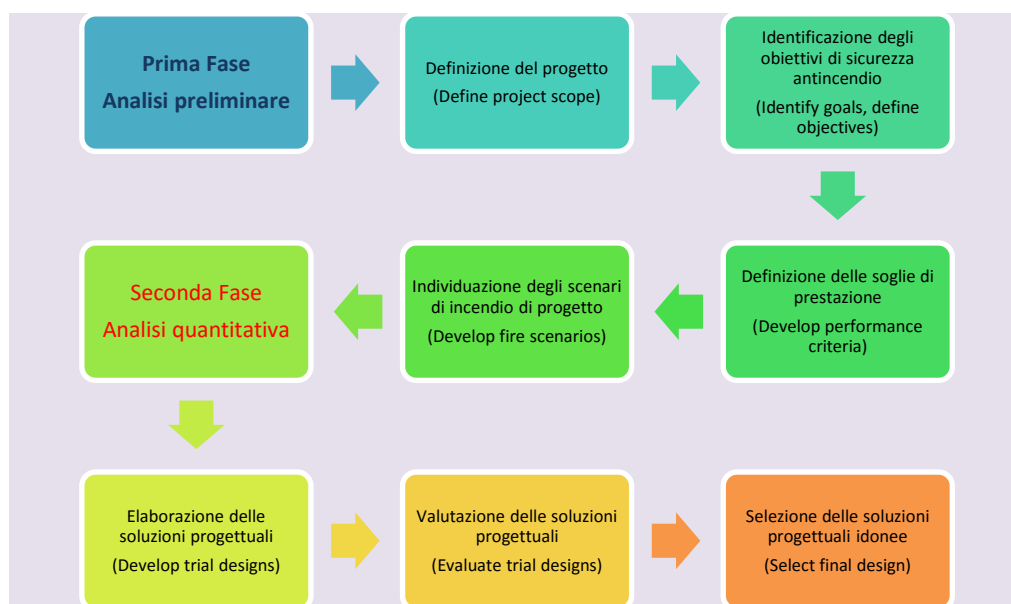
Infine, allo scopo di rendere il documento un testo unico organico per l'intera materia antincendio, è prevista la quarta sezione (Metodi), che introduce metodologie di progettazione antincendio innovative ed alternative a quelle riportate nelle prime tre sezioni, volte alla risoluzione di specifiche problematiche tecniche ai fini antincendio di difficile soluzione con l'approccio sistematico delle prime tre sezioni.

Andremo ora a illustrare i metodi indicati e usati nella progettazione antincendio e che discendono dal Testo Unico.

La metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio o prestazionale, si declina in due fasi:

- a. **prima fase: analisi preliminare.** Si formalizzano i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e individuate quali sono le *soglie di prestazione* cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire;
- b. **seconda fase: analisi quantitativa.** Attraverso l'uso di modelli di calcolo, si esegue l'analisi quali-quantitativa degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, i risultati ottenuti sono confrontati con le *soglie di prestazione* già individuate e definendo il progetto da sottoporre a definitiva approvazione.

*Progettazione antincendio prestazionale - in conformità con i contenuti della serie di rapporti tecnici ISO/TR 13387*



**Figura 2 Sequenza delle fasi dell'approcci prestazionale**

Il progettista con l'applicazione della metodologia FSE, basa l'individuazione delle misure antincendio di prevenzione e protezione di progetto su specifiche ipotesi e limitazioni d'esercizio: pertanto devono essere previste specifiche misure di **gestione della sicurezza antincendio (GSA)** affinché non possa verificarsi la riduzione del livello di sicurezza assicurato inizialmente.

Tralasciando gli aspetti concernenti le definizioni contenute nel decreto, vale la pena di concentrarsi sull'allegato **M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale del Decreto**. In particolare l'allegato tratta dei metodi utili alla individuazione di **Scenari di incendio per la progettazione prestazionale**.

*Allegato M.2  
del DM  
3.8.2015*

Citiamo parte del Decreto per definire gli scenari d'incendio i quali rappresentano la descrizione dettagliata degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a tre aspetti fondamentali:

- a. caratteristiche dell'incendio;
- b. caratteristiche dell'attività;
- c. caratteristiche degli occupanti.

Quindi la procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli **scenari** di incendio di progetto, conforme a quanto previsto nel Decreto, consiste nei seguenti passi:

- a. identificazione dei possibili scenari d'incendio che possono svilupparsi nell'attività, da cui dipende l'esito dell'intera valutazione secondo il metodo prestazionale;
- b. selezione degli scenari d'incendio di progetto tra tutti i possibili scenari d'incendio identificati;
- c. descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto selezionati.

Come sempre bisogna mettersi sempre nelle condizioni più gravose per poter definire i possibili scenari di incendio.

Il Decreto suggerisce al progettista di utilizzare un opportuno albero degli eventi al fine di poter identificare i possibili scenari.

### ***1.4.2 Decreto del Presidente della Repubblica 1 agosto 2011, n. 151***

---

Da tempo in Italia le norme tecniche orizzontali (o regole tecniche) come quelle verticali, si sono inseguite e intersecate senza mai riuscire a trovare un comune denominatore che potesse omogenizzarle.

L'esigenza di rendere la macchina burocratica più snella e che potesse meglio interpretare le esigenze dell'utenza, oltre che ridurre i tempi di lavoro dei VVF, ha portato alla nascita della nuova certificazione antincendio. Si tratta di una procedura informatizzata che, grazie all'istituzione presso i Comuni del SUAP (Sportello Unico delle Attività Produttive), si è potuto abbattere una serie di ritardi nella concessione dei permessi ad esercire.

***La SCIA  
Antincendio***

Lo strumento che è stato adottato è la SCIA ( Segnalazione Certificata di Inizio Attività), con la quale l'imprenditore che intende avviare una attività, o che intende spostarla o implementarla, può chiedere le autorizzazioni direttamente per via telematica.

Allo scopo il DPR 151/2011 ha suddiviso tutte le attività soggette in tre fasce di rilievo:

- **Categoria A:** attività che sono tenute alla sola denuncia di inizio attività e per le quali non è necessario attendere la risposta dei VVF
- **Categoria B:** attività per il quale è necessario sottoporre ai VVF la progettazione antincendio ma per cui l'attività può essere comunque avviata anche senza il parere preventivo dei VVF
- **Categoria C:** Attività per le quali corre l'obbligo della progettazione antincendio e del parere preventivo dei VVF sul progetto e al rilascio della certificazione antincendio.

***Quali sono le  
novità di  
questo  
strumento  
normativo?***

Il DPR 151/11 rappresenta una vera rivoluzione nell'ambito delle certificazioni antincendio. Il motivo risiede nella concetto di suddividere tutte le attività soggette e di individuarne delle fasce di rischio: grazie a tale classificazione (v. allegato 1 del DPR 151 /2011) è possibile immediatamente avere una idea di quali sono i passi successivi per la certificazione delle attività.

Infatti l'allegato 1 del DPR identificale attività in questo modo:

**Tabella 2 Estratto dell'allegati 1 al DPR 151/2011**

N.	ATTIVITA'	CATEGORIA		
		A	B	C
65	Locali di spettacolo e di trattenimento in genere, impianti e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore a 100 persone, ovvero di superficie lorda in pianta al chiuso superiore a 200 m <sup>2</sup> . Sono escluse le manifestazioni temporanee, di qualsiasi genere, che si effettuano in locali o luoghi aperti al pubblico.		Fino a 200 persone	Oltre 200 persone
66	Alberghi, pensioni, motel, villaggi albergo, residenze turistico - alberghiere, studentati, villaggi turistici, alloggi agriturismo, ostelli per la gioventù, rifugi alpini, bed & breakfast, dormitori, case per ferie, con oltre 25 posti letto; Strutture turistico-ricettive nell'aria aperta (campeggi, villaggi-turistici, ecc.) con capacità ricettiva superiore a 400 persone.	Fino a 50 posti letto	Oltre 50 posti letto fino a 100 posti letto; Strutture turistico ricettive nell'aria aperta (campeggi, villaggi-turistici, ecc.)	Oltre 100 posti letto
67	Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie con oltre 100 persone presenti; Asili nido con oltre 30 persone presenti.	Fino a 150 persone	Oltre 150 e fino a 300 persone; Asili nido	Oltre 300 persone
68	Strutture sanitarie che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero e/o residenziale a ciclo continuativo e/o diurno, case di riposo per anziani con oltre 25 posti letto; Strutture sanitarie che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, ivi comprese quelle riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio, di superficie complessiva superiore a 500 m <sup>2</sup> .	Fino a 50 posti letto; Strutture riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio fino a 1.000 m <sup>2</sup>	Strutture fino a 100 posti letto; Strutture riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio oltre 1.000 m <sup>2</sup>	Oltre 100 posti letto

Si è riportato uno stralcio dell'Allegato giusto per far comprendere come le attività vengono identificate.

Si noti come l'attività 65, che poi si analizzerà di seguito, è classificata in categoria B per capacità operativa inferiore o uguale a 200 persone, e C per capacità superiore. In questo caso l'attività è sempre soggetta a parere preventivo da parte dei VVF e di autorizzazione con rilascio di CPI per attività oltre i 200 ospiti.

Il DPR ha come risultato immediato di ridurre i tempi di attesa del parere in quanto, almeno per la categoria A, basta solo la segnalazione che l'attività si svolge in un particolare luogo di lavoro. Infatti se vediamo per una attività n.67 ovvero una scuola, se questa ospita meno di 150 persone, non necessita nemmeno di parere sul progetto antincendio ma solo una asseverazione da parte di un tecnico abilitato (non un tecnico antincendio ) che attesti il superamento dei requisiti minimi per lo svolgimento dell'attività stessa.

Per completare il quadro, il DPR fornisce anche tutta una serie di moduli per la presentazione delle domande e un utile supporto informatico sul sito dei VVF per il calcolo delle tariffe dovute per il rilascio dei vari permessi e a seconda del tipo di attività che si vuole avviare.



### 1.4.3 Approccio Ingegneristico alla Sicurezza Antincendio

---

L'attuale configurazione delle leggi e norme italiane in tema di antincendio prevede una disposizione di tipo:

*DM 9 maggio  
2007 -  
l'approccio  
ingegneristico*

- verticale;
- prescrittivo;
- deterministico.

Nella progettazione antincendio, si possono adottare diversi approcci; tra i più diffusi è senza dubbio il così detto approccio tabellare. Questo approccio è molto semplificato e nella sua applicazione usa valori tabellati per definire i parametri fondamentali della progettazione.

Al riguardo, si citano i seguenti riferimenti:

- BS 7974 (*Application of Fire Safety Engineering to the Building Design*);
- ISO/TR 13387 (*Fire Safety Engineering*);
- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici del 9 maggio 2001 (*Requisiti minimi di sicurezza per aree interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*).

**Il DM 9 maggio 2007** introduce le Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio che fornisce i riferimenti tecnici per poter affrontare la progettazione antincendio secondo un approccio non più didascalico ma finalmente scientifico.

Un aspetto sottovalutato messo in luce dal DM 9/5/07 e contenuto nell'Art. 6 è quello di **Sistema di gestione della sicurezza antincendio**.

*Sistema di  
gestione della  
sicurezza  
antincendio*

Nell'ambito del programma per l'attuazione del **SGSA** devono essere valutati ed esplicitati i provvedimenti presi relativamente ai seguenti punti<sup>4</sup>:

- organizzazione del personale;
- identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;
- controllo operativo;
- gestione delle modifiche;
- pianificazione di emergenza;
- sicurezza delle squadre di soccorso;
- controllo delle prestazioni;
- manutenzione dei sistemi di protezione;
- controllo e revisione.

---

<sup>4</sup> Allegato al DM 9 maggio 2007

Il metodo si rafforza utilizzando le regole prestazionali contenute nel **DM 9 marzo 2007** - Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco.

Nel decreto si introduce il calcolo del carico di incendio specifico di progetto ( $q_{fd}$ ) il cui valore è dato dalla relazione:<sup>5</sup>

$$q_{fd} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot \delta_f \quad [\text{MJ/m}^2]$$

**Equazione 1**

dove :

$\delta_{q1}$  è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento e i cui valori sono definiti in tabella

**Tabella 3 Valori della  $\delta_{q1}$**

Superficie in pianta lorda del compartimento (m <sup>2</sup> )	$\delta_{q1}$
A < 500	1,00
500 ≤ A < 1.000	1,20
1.000 ≤ A < 2.500	1,40
2.500 ≤ A < 5.000	1,60
5.000 ≤ A < 10.000	1,80
A ≥ 10.000	2,00

$\delta_{q2}$  il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento e i cui valori sono definiti in tabella

**Tabella 4 Valori di  $\delta_{q2}$**

Classi di rischio	Descrizione	$\delta_{q2}$
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da	1,00

<sup>5</sup> DM 9 Marzo 2007

	parte delle squadre di emergenza	
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20

$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$  è il fattore che tiene conto delle differenti misure di protezione e i cui valori sono definiti in tabella

**Tabella 5 Valori di  $\delta_{ni}$**

$\delta_{ni}$ , Funzione delle misure di protezione								
Sistemi automatici di estinzione		Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	Sistemi automatici di rivelazione, segnalazione e allarme di incendio	Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio	Rete idrica antincendio		Percorsi protetti di accesso	Accessibilità ai mezzi di soccorso VVF
Ad acqua $\delta_{n1}$	Altro $\delta_{n2}$	$\delta_{n3}$	$\delta_{n4}$	$\delta_{n5}$	Interna $\delta_{n6}$	interna e esterna $\delta_{n7}$	$\delta_{n8}$	$\delta_{n9}$
0,60	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90

Abbiamo che  $q_f$  è il valore nominale del carichi specifico che si ottiene attraverso la formula

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot M_i \cdot \psi_i}{A} \quad [\text{MJ/m}^2] \quad \text{Equazione 2}$$

dove:

**$g_i$**  massa dell'i-esimo materiale combustibile [kg]

**$H_i$**  potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale combustibile [MJ/kg] I valori di  $H_i$  dei materiali combustibili possono essere determinati per via sperimentale in accordo con UNI EN ISO 1716:2002 ovvero essere mutuati dalla letteratura tecnica  $m_i$  fattore di partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile pari a 0,80 per il legno e altri materiali di natura cellulosa e 1,00 per tutti gli altri materiali combustibili

**$\psi_i$**  fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile pari a 0 per i materiali contenuti in contenitori appositamente

progettati per resistere al fuoco; 0,85 per i materiali contenuti in contenitori non combustibili e non appositamente progettati per resistere al fuoco; 1 in tutti gli altri casi

$A$  superficie in pianta lorda del compartimento [m<sup>2</sup>]

Qualora, in alternativa alla formula suddetta, si pervenga alla determinazione di  $q_f$  attraverso una valutazione statistica del carico di incendio per la specifica attività, si deve far riferimento a valori con probabilità di superamento inferiore al 20%.

Definiti i carichi di incendio, le prestazioni da richiedere ad una costruzione, in funzione degli obiettivi di sicurezza, sono individuate nei seguenti livelli:

**Tabella 6 Livelli prestazionali**

Livello I.	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze della perdita dei requisiti stessi siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile
Livello II.	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione
Livello III.	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza
Livello IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione
Livello V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa

Chiaramente i livelli di prestazione comportano l'adozione di differenti classi di resistenza al fuoco che il DM definisce e specifica al punto 3.1.

La maggior parte delle costruzioni ricadono nel livello III ed in base la carico di incendio di progetto, riferendosi alla tabella 4 del DM di seguito riportata, si è in grado di calcolare la classe di resistenza al fuoco:

**Tabella 7 Carichi di incendio di progetto  $q_{f,d}$**

<b>Carichi d'incendio specifici di progetto (<math>q_{f,d}</math>)</b>	<b>Classe</b>
Non superiore a 100 MJ/m <sup>2</sup>	0
Non superiore a 200 MJ/m <sup>2</sup>	15
Non superiore a 300 MJ/m <sup>2</sup>	20
Non superiore a 450 MJ/m <sup>2</sup>	30
Non superiore a 600 MJ/m <sup>2</sup>	45

Non superiore a 900 MJ/m <sup>2</sup>	60
Non superiore a 1200 MJ/m <sup>2</sup>	90
Non superiore a 1800 MJ/m <sup>2</sup>	120
Non superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>	180
Superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>	240

Per eseguire questo calcolo, i VVF e il Ministero degli Interni, hanno messo a disposizione l'applicativo CLARaF.

Il calcolo prevede la determinazione i principali scenari d'incendio e i relativi incendi convenzionali di progetto, che occorrono per definire le azioni del fuoco, sulla base di una valutazione del rischio d'incendio.

A questo punto, a seconda dell'incendio convenzionale di progetto adottato, l'andamento delle temperature negli elementi sarà valutato in riferimento:

- a una curva nominale d'incendio di quelle indicate successivamente, per l'intervallo di tempo di esposizione pari alla classe di resistenza al fuoco prevista, senza alcuna fase di raffreddamento;
- a una curva naturale d'incendio, tenendo conto dell'intera durata dello stesso, compresa la fase di raffreddamento fino al ritorno alla temperatura ambiente.

Ai fini del decreto in oggetto, le classi di resistenza al fuoco sono riferite di norma all'incendio convenzionale rappresentato dalla curva nominale standard seguente:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8 \cdot t + 1) \qquad \text{Equazione 3}$$

dove

$\theta_g$  è la temperatura media dei gas di combustione espressa in °C

$t$  è il tempo espresso in minuti.

#### 1.4.4 DECRETO 19 marzo 2015

---

Aggiornament  
o della regola  
tecnica di  
prevenzione  
incendi per la  
progettazione,  
la costruzione  
e l'esercizio  
delle strutture  
sanitarie  
pubbliche e  
private di cui al  
decreto 18  
settembre  
2002

Le **strutture ospedaliere** riservano da sempre una forte attenzione per via della particolare utenza che viene trattata. Infatti i degenti sono sempre considerati, a ragion veduta, come soggetti impossibilitati dal loro stato di salute e poter procedere autonomamente e in sicurezza all'evacuazione in caso di incendio a calamità.

Per questo motivo il legislatore ha posto particolare attenzione alla peculiarità della attività. Per tale ragione la regola tecnica verticale che ne deriva è quanto mai severa.

Nel citato D.M. del 15 agosto 2015, più precisamente nell'Allegato 20 si parla delle Strutture sanitarie.

Volendo definire le strutture sanitarie, non possiamo non riportare le loro **Classificazioni** come segue:

##### **a. in relazione al tipo di servizio:**

- **SA:** strutture che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero a ciclo continuativo o diurno;
- **SB:** strutture che erogano prestazioni in regime residenziale a ciclo continuativo o diurno;
- **SC:** strutture che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, ivi comprese quelle riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio;

##### **b. in relazione al numero dei posti letto p:**

- **PA:**  $25 < p \leq 50$  posti letto;
- **PB:**  $50 < p \leq 100$  posti letto;
- **PC:**  $100 < p \leq 300$  posti letto;
- **PD:**  $p > 300$  posti letto.

##### **c. in relazione alla massima quota dei piani h:**

- **HA:**  $h \leq 12$  m;
- **HB:**  $12 \text{ m} < h \leq 24$  m;
- **HC:**  $24 \text{ m} < h \leq 32$  m;
- **HD:**  $32 \text{ m} < h \leq 54$  m;
- **HE:**  $h > 54$  m.

Partendo da queste classificazioni, possiamo concentrare la nostra attenzione per quelle strutture che per numero di posti letto, al tipo di servizio e al numero dei piani, rappresentano un problema di gestione delle evacuazioni.

Al di là delle considerazioni tecniche relative all'attività, dobbiamo evidenziare che per tali specifiche strutture, diventa rilevante e estremamente difficoltoso, la gestione degli allettati.

Un esempio : Ospedale Monaldi di Napoli.

*Esempio:  
Ospedale  
Monaldi*

L'ospedale Monaldi ha in dotazione 571 posti letto ed un numero di addetti antincendio, qualificato negli anni secondo il D.M. 10 marzo 1998, superiore a 120 unità. Gli addetti sono, per la gran parte personale infermieristico, quindi è garantita la presenza di almeno un addetto antincendio nei reparti nell'arco delle 24 ore.

In questo caso l'edificio risponde a queste caratteristiche funzionali: è di tipo SC, PD e HC. Volendo calcolare in questa struttura il numero di addetti antincendio utili possiamo seguire il seguente calcolo:

Secondo l'Allegato III Titolo V, Sistema di gestione della sicurezza finalizzato all'adeguamento antincendio il responsabile dell'attività, deve provvedere a:

a) adottare, il sistema di gestione della sicurezza finalizzato all'adeguamento antincendio delle attività sanitarie (SG) definito attraverso uno specifico documento presentato all'organo di controllo redatto in base ai principi stabiliti dal decreto del Ministro dell'interno, adottato di concerto con il Ministro del lavoro e della previdenza sociale, del 10 marzo 1998 e aggiornato in corrispondenza delle successive fasi di adeguamento dell'attività, indicando le misure migliorative poste in atto, valutando ed esplicitando i provvedimenti adottati relativamente ai seguenti punti:

- identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;
- organizzazione del personale;
- controllo operativo delle successive fasi di adeguamento;
- gestione delle modifiche;
- pianificazione di emergenza;
- sicurezza delle squadre di soccorso;
- controllo delle prestazioni con riferimento anche ai crono programmi;
- manutenzione dei sistemi di protezione;

- controllo e revisione del SG.

In particolare il SG deve contenere:

- il documento di strategia nei riguardi della sicurezza antincendio a firma del responsabile,
- indicando il budget da impegnare per la sicurezza antincendio nel periodo considerato;
- l'analisi delle principali cause e pericoli di incendio e dei rischi per la sicurezza delle persone;
- il sistema di controlli preventivi che garantisca il rispetto dei divieti ed il mantenimento nel tempo delle misure migliorative adottate nelle varie fasi (divieti, limitazioni, procedure di esercizio, ecc.);
- il piano per la gestione delle emergenze;
- il piano di formazione e l'organigramma del personale addetto al settore antincendio ivi compresi i responsabili della gestione dell'emergenza; il numero minimo di addetti è determinato secondo quanto indicato alla successiva lettera c;

b) individuare il responsabile tecnico della sicurezza antincendio, in possesso di attestato di partecipazione, con esito positivo, al corso base di specializzazione di cui al decreto del Ministro dell'interno 5 agosto 2011, con mansioni di pianificazione,

coordinamento e verifica dell'adeguamento nelle varie fasi previste, indicando la posizione nell'organigramma aziendale e le relative deleghe;

c) designare gli addetti antincendio che devono essere individuati secondo i criteri di seguito riportati:

- addetti di compartimento, che assicurano il primo intervento immediato e che svolgono altre funzioni sanitarie o non;
- squadra antincendio che si occupa dei controlli preventivi e dell'intervento in caso di incendio, anche in supporto agli addetti di compartimento;

Con la designazione di tali addetti si adempie anche all'obbligo previsto dall'articolo 18 del D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81.

Il numero minimo degli addetti di compartimento è stabilito dalla Tabella 6 (i numeri non interi ricavati dai calcoli devono essere arrotondati all'unità superiore).



**Tabella 8 Calcolo addetti antincendio**

numero di posti letto effettivamente presenti nel compartimento	oltre 25 fino a 50	oltre 50 fino a 100	oltre 100
Numero minimo di addetti di compartimento presenti H24			
Strutture che erogano prestazioni in regime ospedaliero	almeno 2 per piano; almeno 1 per compartimento;	almeno 2 per piano; almeno 1 per compartimento; almeno 1 ogni 25 posti letto;	almeno 2 per piano; almeno 1 per compartimento; almeno 1 ogni 20 posti letto o frazione;
strutture che erogano prestazioni in regime residenziale	almeno 1	almeno 2	almeno 2 per piano;almeno 1 per compartimento; almeno 1 ogni 20 posti letto o frazione;

Nel caso dell'ospedale Monaldi i reparti sono suddivisi in 6 compartimenti per i primi 5 piani e 2 per il sesto piano tutti con posti letto sup. a 25 e fino a 50, si ha:

32 compartimenti almeno 1 addetto per compartimento quindi in totale:

$32 \times 1 = 32$  **addetti antincendio** presenti nei reparti.

Il numero dei componenti della squadra aggiuntivi rispetto agli addetti di compartimento è così determinata  $[A + B + C] \times D$  dove:

**valori di A** (*superficie del compartimento*)

La superficie considerata deve essere quella del compartimento più grande presente nell'edificio, che può corrispondere anche all'intero edificio. In caso di mancata compartimentazione devono essere considerate anche le superfici delle aree a diversa destinazione come autorimesse, aree tecniche, uffici ecc.

I valori di A sono riportati di seguito:

**Tabella 9 Superfici compartimento antincendio**

Compartimento antincendio	Fino a 2000 m <sup>2</sup>	Oltre 2000 fino a 4000 m <sup>2</sup>	Oltre 4000 fino a 8000 m <sup>2</sup>	Oltre 8000 fino a 15000 m <sup>2</sup>	Oltre 15000 m <sup>2</sup>
Valore di A	0	1.0	2.0	3.0	4.0

La massima superficie di compartimento è oltre 4000 e fino a 8000 m<sup>2</sup>:

Valore di **A** = 2.0

**valori di B** (*altezza antincendio*)

l'altezza antincendio è quella dell'edificio più alto, anche se diviso in compartimenti. Per le strutture di tipo ambulatoriale, ammesse in edifici anche a diversa destinazione, deve essere considerata l'altezza antincendio del piano più alto ove è ubicata la struttura ambulatoriale.

I valori di B sono riportati in Tabella 8;

**Tabella 10 valore altezze**

Altezza incendio	Mono piano	Fino a 8 m	Oltre 8 fino a 24 m	Oltre 24 fino a 32 m	Oltre 32 m
Valore di B per scale non protette	0	0,5	1,0	2,0	3,0
Valore di B per scale protette	0	0	0	0,3	1,0

Il valore di altezza da prendere in considerazione è oltre 24 e fino a 32 m e scale non protette:

Valore di **B** = 2.0

**valori di C** (*funzione del numero di posti letto*) i valori di C sono riportati in tabella 5. I posti letto da inserire sono quelli presenti globalmente nella struttura, anche se divisa in padiglioni;

**Tabella 11 valori posti letto**

Numero di posti letto complessivi	Oltre 25 fino a 100	Oltre 100 fino a 200	Oltre 200 fino a 500	Oltre 500 fino a 1000	Oltre 1000 fino a 15000	Oltre 15000
Valore di C	1	2	4	6	8	10

Numero di posti letto oltre 500 e fino a 1000:

Valore di **C** = 6

**valori di D**

in caso venga asseverata la presenza di un impianto di rivelazione ed allarme esteso all'intera attività il valore da adottare è 0.50; negli altri casi è 1.0.

Attualmente sono montati impianti di allarme su tutte i locali dell'ospedale

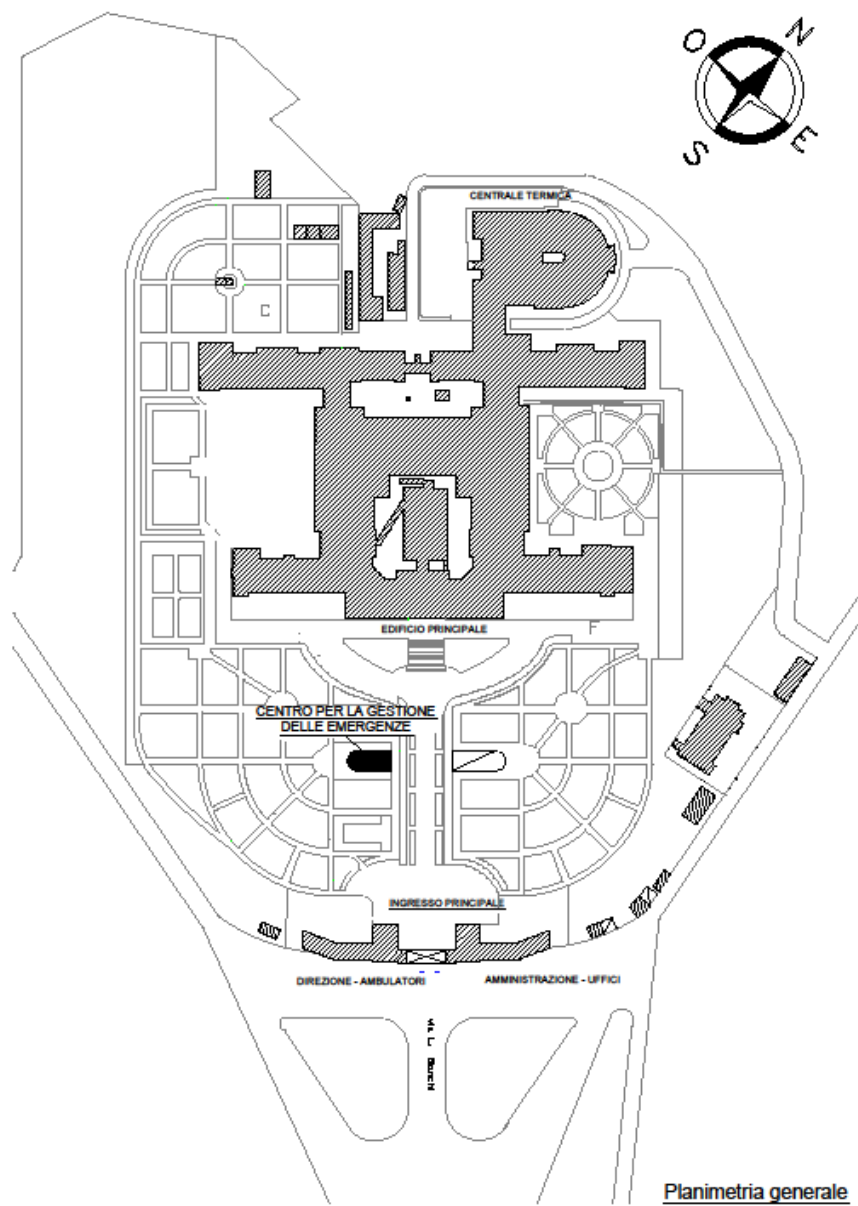
Valore di **D** = 1.0

Il numero dei componenti della squadra aggiuntivi rispetto agli addetti di compartimento è così determinata con **A** = 2.0, **B** = 2.0, **C** = 6 e **D** = 1.0:

$$(2.0 + 2.0 + 6) \times 1.00 = 10 \text{ persone}$$

La squadra aggiuntiva agli addetti al compartimento è di **10 persone**.

Sia in numero degli addetti antincendio nei reparti **32 addetti antincendio** che il numero degli addetti nella squadra aggiuntiva **10 persone** deve essere garantito nell'arco delle 24 ore.



**Figura 3 – Planimetria generale Ospedale Monaldi**

#### 1.4.5 DECRETO 21 ottobre 2015 -

---

Le **stazioni metropolitane** rappresentano una sfida nel campo della gestione dei rischi vuoi per la numerosità delle utenze che per i luoghi e i mezzi in cui questi si trovano.

Pensiamo a un convoglio pieno di persone in una situazione di incidente.

Oltre alla difficoltà oggettiva di raggiungerli e di avvisarli, c'è anche la difficoltà di una evacuazione da mezzi non sempre adeguati a trasportare un numero sempre più alto di persone.

Lo scenario che si potrebbe incontrare è veramente inquietante e non sempre la sola norma tecnica può essere sufficiente.

Vi sono, poi, stazioni metropolitane che, per la natura stessa dei luoghi (sotto il livello stradale) rappresentano una vera impresa per il tecnico che approccia la sicurezza di tali attività.

L'Art. 2 del DM 2/10/2015 declina gli Obiettivi del decreto indicando al comma 1 che:

*Ai fini della prevenzione incendi, allo scopo di raggiungere i primari obiettivi di sicurezza relativi alla salvaguardia delle persone e alla tutela dei beni contro i rischi di incendio, le opere civili e gli impianti fissi delle metropolitane sono progettate, realizzate e gestite in modo da:*

*a) minimizzare la probabilità di insorgenza degli incendi e nel caso in cui un incendio si sviluppi comunque sul treno, sulla sede, ed in particolare in galleria e nelle aree di stazione, limitarne la sua propagazione;*

*b) assicurare la possibilità che gli occupanti possano lasciare indenni, in modo autonomo, i luoghi in cui si è sviluppato l'incendio, nell'ambito delle procedure di emergenza, o che gli stessi possano essere soccorsi in altro modo;*

*c) garantire la stabilità delle strutture portanti;*

*e) limitare la propagazione di un incendio ad attività contigue;*

*f) garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.*

**Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane.**

**Art. 2 del DM 2/10/2015 - Obiettivi**

### 1.4.6 DECRETO. 19 Agosto 1996

Locali di  
pubblico  
spettacolo

Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo

Facendo riferimento al testo coordinato dei VVF che aggiorna il DM 19.08.1996 in merito ai locali che sono destinati ad ospitare intrattenimento e pubblico spettacolo, possiamo vedere cosa riporta l'allegato I del DPR 151/2011

**Tabella 12 Identificazione dell'Attività secondo l'allegato 1 del DPR 151/2011**

N	Attività	CATEGORIA		
		A	B	C
65	Locali di spettacolo e di intrattenimento in generale, impianti e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore alle 100 persone ovvero di superficie in pianta al chiuso superiore a 200 mq Sono escluse le manifestazioni temporanee, di qualsiasi genere, che si effettuano in locali o luoghi aperti al pubblico		<b>Fino a 200 persone</b>	<b>Oltre 200 persone</b>

Il decreto ha per scopo l'emanazione di disposizioni di prevenzione incendi riguardanti la progettazione, la costruzione e l'esercizio dei sottoelencati locali:

- a) teatri;
- b) cinematografi;
- c) cinema-teatri;
- d) auditori e sale convegno;
- e) locali di trattenimento, ovvero locali destinati a trattenimenti ed attrazioni varie, aree ubicate in esercizi pubblici ed attrezzate per accogliere spettacoli, con capienza superiore a 100 persone;
- f) sale da ballo e discoteche;
- g) teatri tenda;
- h) circhi;
- i) luoghi destinati a spettacoli viaggianti e parchi di divertimento;
- j) luoghi all'aperto, ovvero luoghi ubicati in delimitati spazi all'aperto attrezzati con impianti appositamente destinati a spettacoli o intrattenimenti e con strutture apposite per lo stazionamento del pubblico.

Rientrano nel campo di applicazione del presente decreto i locali multiuso utilizzati occasionalmente per attività di intrattenimento e pubblico spettacolo.

### 1.4.7 DECRETO 18 marzo 1996

Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi coordinato con le modifiche e le integrazioni introdotte dal D.M. 6 giugno 2005

*Impianti sportivi*

Facendo riferimento al testo coordinato dei VVF che aggiorna il DM 18.03.1996 in merito ai locali che sono destinati ad ospitare intrattenimento , impianti sportivi, palestre ecc., possiamo vedere cosa riporta l'allegato I del DPR 151/2011

**Tabella 13 Identificazione dell'Attività secondo l'allegato 1 del DPR 151/2011**

N	Attività	CATEGORIA		
		A	B	C
65	Locali di spettacolo e di intrattenimento in generale, impianti e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore alle 100 persone ovvero di superficie in pianta al chiuso superiore a 200 mq Sono escluse le manifestazioni temporanee, di qualsiasi genere, che si effettuano in locali o luoghi aperti al pubblico		<b>Fino a 200 persone</b>	<b>Oltre 200 persone</b>

Possiamo notare che anche questa attività, normata da un diverso dispositivo di legge, afferisce alla stessa attività n. 65 di quella già vista nel caso degli impianti sportivi.

*Campo di applicazione*

Il Campo di applicazione della presente norma sono *i complessi e gli impianti sportivi di nuova costruzione e quelli esistenti, già adibiti a tale uso anche se inseriti in complessi non sportivi, nei quali si intendono realizzare variazioni distributive e/o funzionali, eccetto gli interventi di manutenzione ordinaria(2) di cui all'art. 31, lettera a), della legge del 5 agosto 1978, n. 457, nei quali si svolgono manifestazioni e/o attività sportive regolate dal C.O.N.I. e dalle Federazioni sportive nazionali riconosciute dal C.O.N.I., riportate nell'allegato, ove è prevista la presenza di spettatori in numero superiore a 100.*

Per chi volesse progettare un impianto sportivo ex novo o adeguare uno preesistente, l'art. 3 del DM 18.03.1996 indica la necessità di presentare una relazione tecnica descrittiva del progetto, redatta con riferimento al decreto del Presidente della Repubblica 12 gennaio 1998, n. 37, e disposizioni collegate, nonché alla regola tecnica del DM su citato.

*Il comune sottopone il progetto alla commissione provinciale di vigilanza, per l'esercizio da parte di quest'ultima delle attribuzioni di cui all'art. 80 del testo unico delle leggi di pubblica sicurezza approvato con regio decreto 18 giugno 1931, n. 773, la quale redige apposito verbale con motivato parere circa la conformità dell'impianto alle presenti norme.*

La cosa importante nella progettazione di un impianto sportivo è la capienza massima del complesso: la "capienza" di un locale di pubblico spettacolo e trattenimento costituisce l'affollamento massimo consentito e viene stabilita dalla Commissione Provinciale di Vigilanza, di cui all'art. 141 del regolamento del T.U.L.P.S., nel rispetto delle norme di sicurezza e di igiene vigenti (Chiarimento Nota Prot. n° P718/4118 sott. 20/C del 27 marzo 1997).

Nella realizzazione dell'impianto vi sono diversi enti che concorrono nel rilascio di autorizzazioni. Ci sono una serie di parametri tecnici che devono essere superati anche in tema di norme igieniche, abbattimento delle barriere architettoniche oltre che antincendio.

Per lo studio in esame quello che interessa sono le numeriche di spettatori che possono essere ospitati all'interno degli impianti. Chiaramente ci soffermiamo sul caso di impianti che possono ospitare oltre le 200 persone.

*In impianti con più persone, la larghezza di ogni uscita e via d'uscita deve essere non inferiore a 2 moduli (1,20 m); la larghezza complessiva delle uscite deve essere dimensionata per una capacità di deflusso non superiore a 250 (1,20 m ogni 500 persone) per gli impianti all'aperto ed a 50 (1,20 m ogni 100 persone) per gli impianti al chiuso indipendentemente dalle quote; le vie d'uscita devono avere la stessa larghezza complessiva delle uscite dallo spazio riservato agli spettatori.*

*Per gli impianti al chiuso e per gli ambienti interni degli impianti all'aperto la lunghezza massima delle vie di uscita non deve essere superiore a 40 m o a 50 m se in presenza di idonei impianti di smaltimento dei fumi asserviti a impianti di rilevazione o segnalazione di incendi realizzati in conformità alle disposizioni di cui all'art. 17.<sup>6</sup>*

Altre prescrizioni riguardano le distanze massime a cui possono essere poste le uscite e, nel caso della presenza di disabili, la presenza di spazi calmi. *Per la realizzazione di questi si dovrà ricorrere a strutture e materiali congruenti con le caratteristiche di resistenza e reazione al fuoco richieste per le vie di esodo e devono essere raggiungibili con percorsi non superiori a 40 m, quando esiste possibilità di scelta fra due vie di esodo, in caso contrario tali percorsi devono essere non superiori a 30 m.*

---

<sup>6</sup> DM 19.03.1996



### 1.4.8 DECRETO 26 agosto 1992

Introduciamo il DM 26 agosto 1992 che riguarda l'edilizia scolastica, e più in particolare il testo coordinato riguardante tale attività.

**Tabella 14** punto 67 dell'allegato I del D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151, "scuole"

*Norme di  
prevenzione  
incendi per  
l'edilizia  
scolastica*

N	Attività	CATEGORIA		
		A	B	C
67	Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie con oltre 100 persone presenti; Asili nido con oltre 30 persone presenti	<b>Fino a 150 persone</b>	<b>Oltre 150 fino a 300 persone</b>	<b>Oltre 300 persone</b>

In base alla tabella precedente, si può vedere che l'attività n.67 viene classificata in categoria A, B o C a seconda del numero di persone che la possono occupare.

La presente norma si applica agli edifici ed ai locali di nuova costruzione o agli edifici esistenti in caso di ristrutturazioni che comportino modifiche sostanziali, i cui progetti siano presentati agli organi competenti per le approvazioni previste dalle vigenti disposizioni, dopo l'entrata in vigore del presente decreto. Si intendono modifiche sostanziali lavori che comportino il rifacimento di oltre il 50% dei solai o il rifacimento strutturale delle scale o l'aumento di altezza.

Le scuole vengono suddivise, in relazione alle presenze effettive contemporaneamente in essere prevedibili di alunni e di personale docente e non docente, nei seguenti tipi:

- **tipo 0**: scuole con numero di presenze contemporanee fino a 100 persone;
- **tipo 1**: scuole con numero di presenze contemporanee da 101 a 300 persone;
- **tipo 2**: scuole con numero di presenze contemporanee da 301 a 500 persone;
- **tipo 3**: scuole con numero di presenze contemporanee da 501 a 800 persone;
- **tipo 4**: scuole con numero di presenze contemporanee da 801 a 1.200 persone;
- **tipo 5**: scuole con numero di presenze contemporanee oltre le 1.200 persone.

Il massimo affollamento ipotizzabile è fissato in:

- aule: 26 persone/aula. Qualora le persone effettivamente presenti siano numericamente diverse dal valore desunto dal calcolo effettuato sulla base della densità di affollamento, l'indicazione del numero di persone deve risultare da apposita dichiarazione rilasciata sotto la responsabilità del titolare dell'attività;
- aree destinate a servizi: persone effettivamente presenti + 20%;
- refettori e palestre: densità di affollamento pari a 0,4 persone/m<sup>2</sup>.

## 1.5 Il Fire Safety Engineering

---

Come abbiamo detto, abbandonato l'approccio deterministico alla base del metodo tabellare, per la determinazione della evoluzione degli incendi si è passati ad un approccio di tipo ingegneristico o prestazionale (Fire Engineering), approccio caro nei Paesi anglosassoni, che si basa sulla predizione della dinamica evolutiva dell'incendio tramite l'applicazione di idonei modelli di calcolo fisicamente basati (physically sound). Allo stato attuale in Italia il ricorso alla Fire Engineering è di fatto circoscritto alle applicazioni per le quali non esiste una specifica norma prescrittiva, su tutte la valutazione del rischio in attività a rischio di incidente rilevante e la *fire investigation*; talora essa è impiegata anche per la valutazione della sicurezza equivalente in occasione di richiesta di deroga a norme prescrittive<sup>7</sup>.

Con l'approccio ingegneristico introdotto dal DM 9 maggio 2007 siamo ora nella necessità oggettiva di dover adottare strumenti matematici al fine di poter verificare la propagazione dell'incendio.

L'analisi ingegneristica può essere riassunta in tre punti essenziali:

- definizione di una metodologia di progettazione antincendio secondo una codificazione definita (scelta di codici di calcolo adeguati a schematizzare la situazione reale);
- definizione degli scenari incidentali (in accordo con gli organi di controllo) su cui sviluppare le successive valutazioni;
- valutazione oggettiva delle conseguenze di un incendio in relazione allo scenario prescelto e misura del livello di sicurezza presumibile.

Il Fire Engineering si basa sull'uso di particolari codici. In commercio si trovano già dei codici per i quali sono stati elaborati modelli che descrivono le capacità di rilascio del calore dei materiali durante la combustione, la loro suscettibilità ad essere innescati, l'andamento dell'incendio in funzione della ventilazione, la generazione delle specie tossiche, la generazione dei fumi ed il loro movimento, l'esodo delle persone, ecc. Inoltre, sono state compiute sperimentazioni di laboratorio in grado di dare pratica utilizzabilità alle formule matematiche teoriche.

I modelli di simulazione più diffusi che rappresentano l'incendio al variare delle situazioni iniziali sono i seguenti:

---

<sup>7</sup> ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI – ROMA FIRE SAFETY ENGINEERING: UNA APPLICAZIONE Direttori Antincendi C. Barbera, A. Bascià, G. Di Salvo, A. Galfo, R. Lala, S. Lucidi, D. Maisano, G. Mancini, V. Puccia, F. Vorraro

- **modelli a zone** o volumi di controllo in cui le equazioni di conservazione vengono risolte per zone distinte e relativamente grandi

- **modelli di campo** (CFD ovvero Computational Fluid Dynamics) in cui si utilizzano metodi agli elementi finiti e le equazioni di conservazione vengono risolte all'interno di una griglia tridimensionale di cubetti in cui sono divisi i compartimenti.

*Quelli a parametri concentrati (o parametrici od a zone), risolvono in modo esatto una equazione od un set di equazioni approssimate, in cui compaiono tipicamente parametri operativi, empirici o semi - empirici, mentre quelli a parametri distribuiti (o numerici o di campo), se risolvono in modo approssimato un set di equazioni esatte.*

I modelli numerici euleriani implementati in software commerciali di fluidodinamica computazionale (CFD) costituiscono di gran lunga la più raffinata possibilità di simulazione di incendio attualmente disponibile: questi hanno il grande pregio di essere uno strumento duttile e quindi utilizzabile per descrivere tutta una serie di scenari possibili. In commercio vi sono diversi software utili a risolvere i problemi di simulazione incendi, tra questi ricordiamo il Fire Dynamic Simulator (FDS), versione 4.0, sviluppato dalla *Fire Research Division* presso il *Building and Fire Research Laboratory* (BFRL) del *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e distribuito freeware.

## 2 I RISCHI PER LA SICUREZZA

### 2-1 Il rischio d'AREA

---

I rischi legati a scenari come quelli delle industrie di processo, devono essere considerati al di fuori di quelle che possono avere effetti al di fuori dei perimetri in cui l'azienda è confinata. L'analisi e la prevenzione di questi rischi risulta avere una notevole importanza in zone dove siano presenti numerose potenziali sorgenti di rischio contigue fra loro.

Da una ricerca bibliografica eseguita, possiamo affermare che attualmente non è presente una procedura di riferimento per l'analisi sistematica qualitativa e quantitativa del rischio associato a questo tipo di incidenti. Diversi autori evidenziano come questo limite può essere particolarmente importante negli studi di rischio d'area, in cui l'elevato numero di sorgenti analizzate ed il numero di informazioni da gestire richiede lo sviluppo di approcci specifici per l'analisi sistematica dell'effetto domino.

*Metodologie  
valutazione  
rischio d'Area*

Alcune ricerche hanno analizzato lo sviluppo e la validazione di una metodologia sistematica per l'analisi dell'effetto domino in studi di rischio d'area; questo apporto ci ritornerà poi utile nella definizione di un modello di valutazione combinata. L'analisi di numerosi eventi incidentali causati da effetto domino ha permesso di evidenziare due diverse tipologie di scenari:

- incidenti causati dalla propagazione di eventi iniziatori di limitata severità;
- incidenti secondari causati da un incidente rilevante primario.

Le due tipologie di effetti domino sono state analizzate con metodi specifici per l'identificazione degli scenari, l'individuazione delle frequenze attese e la valutazione delle conseguenze. Uno dei principali obiettivi delle metodologie sviluppate è stato di minimizzare il numero di ulteriori informazioni ed analisi da effettuare per la valutazione quantitativa degli scenari secondari.

Una particolare attenzione deve essere posta ai rischi d'area intesi come quelli che vanno al di là dei confini dell'azienda. In particolare dobbiamo tener conto degli effetti che possono essere provocati da sorgenti di innesco dovute ad eventi naturali e che non sempre ricadono nei calcoli di previsione dei rischi.

*ARIPAR GIS*

Allo scopo la Regione Emilia Romagna, in collaborazione con l'Università di Bologna, hanno messo a punto uno strumento informatico che, partendo da rilievi topografici e planimetrici con architettura GIS, definisce, a fronte di dati che ne caratterizzano meglio lo scenario, le curve di isorischio, come si vedrà più avanti.

## 2.2 Rischi naturali

Intendiamo come rischio naturale quel rischio associato ad eventi catastrofici di origine naturale, quali quelli sismici, vulcanici e idrogeologici (frane e esondazioni). L'analisi dei rischi naturali viene effettuata dai diversi specialisti adottando specifiche scale di "rischio" non omogenee tra loro e basate su diverse "definizioni" del rischio stesso. Ne consegue che non è possibile estendere ai rischi naturali le tecniche di QRA applicate per il rischio tecnologico: in molti casi, risulta poi difficile anche ottenere informazioni del tipo frequenza-conseguenze, poiché i dati disponibili consentono solo di conoscere se l'evento si sia o meno verificato in una certa zona, senza fornire alcuna indicazione né sulla ricorrenza dell'evento nella stessa zona né sui danni da esso provocati. Verranno ora brevemente esaminate le informazioni disponibili per valutare la distribuzione di questi rischi, con l'eccezione di quello vulcanico, poiché sembra del tutto improbabile che uno stabilimento a rischio di incidente rilevante si trovi in un'area soggetta a questo tipo di fenomeno.

**Rischio incendio boschivo:** la costruzione di insediamenti industriali in zone con presenza di macchia verde, rappresenta un motivo (a volte) dettato dalla possibilità di abbattere gli effetti delle emissioni. A parte le ragioni che possono indurre la scelta, la presenza di boschi può e deve essere valutato al fine di avere una valutazione dei rischi. Per tutte le aziende, che ricadano o meno nella norma Seveso, la frequenza di incendio da una Analisi di primo livello, se l'area boschiva dista meno di 25 m dall'azienda, si incrementerà con il 10% della frequenza assunta dalla sorgente di rischio.

In regione Campania l'incidenza degli incendi boschivi è molto alta e vede Salerno ed Avellino le provincie in cui tali casi sono più numerosi.

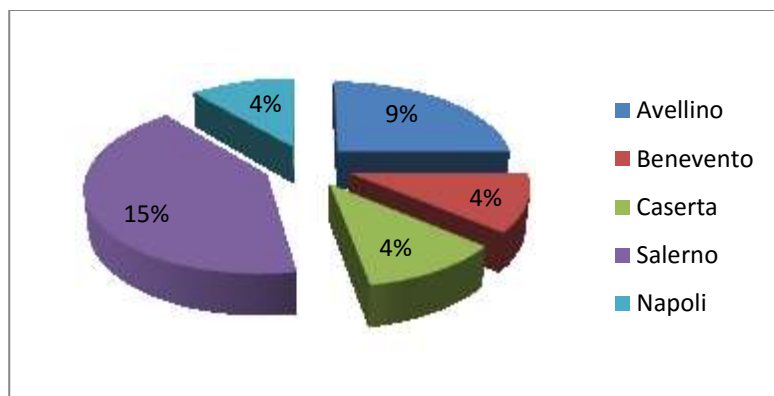
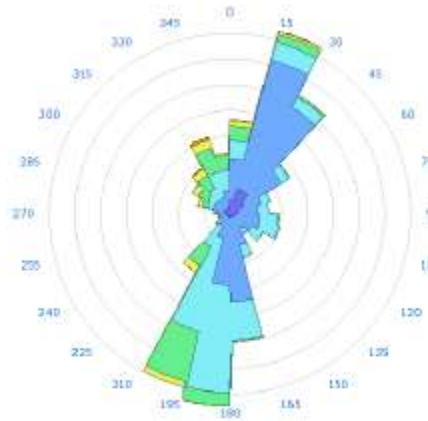


Figura 4 – Incidenza degli incendi boschivi in Campania

Il rischio di incendi boschivi è legato anche alla direzione dei venti dominanti: le aree residenziali e/o industriali a ridosso delle aree boschive e che si trovano in opposizione ai venti dominanti, risultano maggiormente esposte.



**Figura 5 - Anemogramma dei venti in Campania**

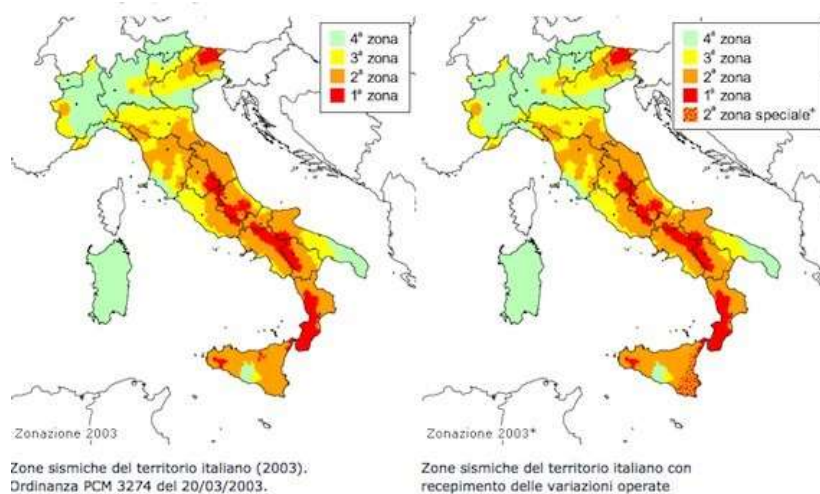
L'anemogramma riporta la densità dei venti e si evidenzia come ci siano direzioni poco interessate.

La direzione e l'intensità dei venti è molto importante anche per le eventuali direzioni dei fumi e delle emissioni in caso di materiale tossico.

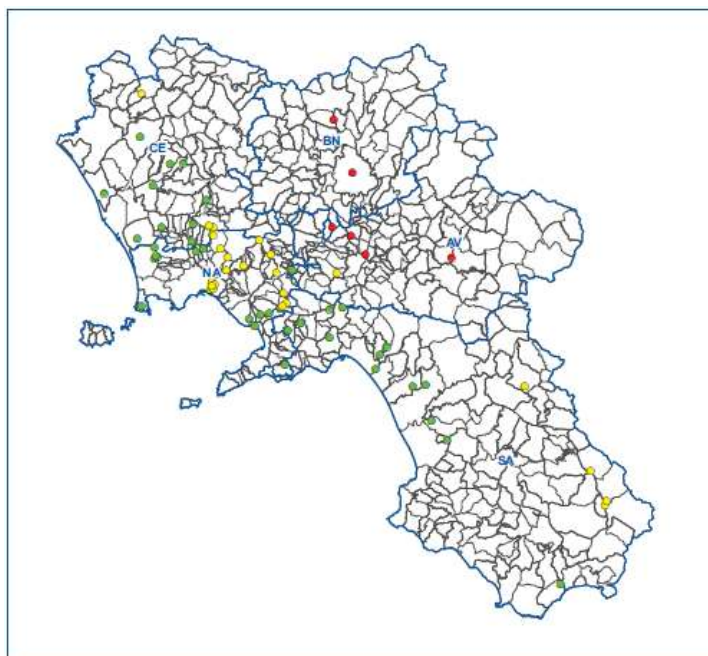
**Rischio sismico:** Esistono molte scale per la caratterizzazione e la misura dell'intensità dei sismi: la più popolare al livello mondiale è la scala Richter, mentre in Italia è più utilizzata la scala Mercalli Cancani Sieberg (MCS). La scala Richter fornisce una misura quantitativa dell'intensità del sisma mentre la MCS si basa sulle conseguenze provocate dal terremoto: ad esempio, un terremoto molto distruttivo, valutabile come 12 sulla scala Mercalli dovrebbe essere pari a 7.5 su quella Richter. Altre scale di misura per l'intensità dei sismi sono la Peak Ground Acceleration (PGA), che misura il picco di accelerazione, e l'intensità spettrale di Housner, definita come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo-velocità in un prefissato intervallo di frequenze: entrambe queste grandezze sono direttamente correlabili ai danni riportati dagli edifici.

In generale, le informazioni disponibili forniscono la distribuzione di queste grandezze, indicatori dei potenziali danni associati al sisma, per vari "tempi di ritorno", indicatori della frequenza con la quale si può ripresentare un sisma della stessa magnitudo. In Italia sono disponibili dati per tempi di ritorno di 47, 95, 475, 975 e 2475 anni.

Nelle due figure sottostanti sono riportate la localizzazione delle aziende Seveso e la classificazione sismica del territorio italiano.



**Figura 6** Mappa del rischio sismico in Italia



**Rischio  
idrogeologico**

**Figura 7** Vulnerabilità sismica della regione Campania rispetto ai comuni in cui ricadono aziende RIR

In letteratura l'orientamento è quello di considerare zone con tempi di ritorno di 475 anni.

Per le aziende RIR collocate nelle seguenti zone:

zone caratterizzate da  $a_{g,475} \geq 0,25g$  (pericolosità alta)

zone caratterizzate da  $0,25g > a_{g,475} \geq 0,15g$  (pericolosità media)

si procederà ad incrementare la frequenza di accadimento degli incidenti dell'azienda RIR della frequenza attesa del sisma relativo.

Per quanto riguarda le aziende AIAP, che come accennato riguarda le aziende non ricadenti nella normativa Seveso, collocate nelle seguenti zone:

zone caratterizzate da  $a_{g,475} \geq 0,25g$  (pericolosità alta)

zone caratterizzate da  $0,25g > a_{g,475} \geq 0,15g$  (pericolosità media)

si procederà ad incrementare la frequenza di accadimento degli incidenti dell'azienda AIAP della frequenza attesa del sisma relativo.

**Rischio idrogeologico:** Per quanto riguarda le frane i soli dati disponibili riguardano le estensioni delle aree in cui si sono verificate i fenomeni franosi, la linea della frana, che ne indica sostanzialmente la direzione, e il punto più alto della frana<sup>8</sup>. Non sono invece disponibili informazioni riguardanti la frequenza di accadimento dei fenomeni franosi, né i danni provocati dagli stessi.



**Figura 8 – Percentuale dissesto idrogeologico del territorio italiano**

Per quanto riguarda le esondazioni, gli eventi di piena vengono classificati in funzione della probabilità che una certa portata possa essere superata nel tempo di un anno: ad esempio, una piena che si verifichi una volta ogni 100 anni, ha una probabilità di 1/100 di essere superata. Anche la delimitazione delle aree esondabili è riferita al concetto di tempo di ritorno dell'evento: solitamente i valori dei tempi di ritorno per le aree ad elevata probabilità di esondazione sono compresi tra 20 e 50 anni, mentre, per le aree con bassa probabilità di

<sup>8</sup> APAT, 2005 informazioni disponibili su: <http://www.sinanet.it/progettoIFFI>.







**Figura 10 – L'apparato vulcanico Somma-Vesuvio (1.281 m)**

La storia presenta innumerevoli esempi di *natural disaster*, uno dei più famosi è l'eruzione vulcanica del Vesuvio che ha ricoperto di uno strato di cenere spesso 65 piedi le città di Pompei ed Ercolano nel 79 DC. Un ulteriore esempio che ci offre il passato a noi più prossimo è lo tsunami che la mattina del 26 dicembre 2004 si è verificato al largo delle coste dell'isola indonesiana di Sumatra provocando onde di 25 metri e la morte di circa 300,000 persone.

#### **Definizione della vulnerabilità e del fattore di resilienza**

L'entità dell'impatto che un fattore di rischio può generare su un certo contesto territoriale è strettamente correlata alla vulnerabilità di tale contesto, cioè alla predisposizione intrinseca degli elementi antropici di tale area a subire danni, ed al grado di resilienza degli stessi elementi antropici. La vulnerabilità di un territorio è determinata dalla presenza dei seguenti elementi sensibili:

- edifici ad uso ospedaliero;
- edifici ad uso scolastico;
- edifici ad uso turistico (alberghi, campeggi, etc.);
- stazioni;
- impianti sportivi con capienza superiore a 10.000 posti;
- aeroporti;
- centri commerciali;
- aree fieristiche.

Si è deciso quindi di conteggiare la vulnerabilità territoriale all'interno dell'algoritmo di calcolo del rischio integrato incrementando la densità abitativa di ogni cella della griglia di analisi in funzione del numero e della tipologia di elementi sensibili in essa presenti. Si sono trascurati gli impianti sportivi perché su media annuale l'incremento della densità abitativa che essi determinano non è significativo.

Per quanto riguarda invece la resilienza, cioè la caratteristica del sistema territoriale, antropico e infrastrutturale, di far fronte a eventi calamitosi e di tamponarne gli effetti, si sono acquisiti in toto i risultati del PRIM.

Il fattore  $r$  è stato assunto pari al Fattore di Impatto Indiretto, tale parametro è sempre compreso fra 0,9 e 1,2 : a un elevato grado di resilienza corrisponde un valore di  $r$  prossimo a 0,9 viceversa a un grado ridotto di resilienza equivale un valore di  $r$  uguale a 1,2.

### **ESEMPIO**

A titolo di esempio, è stato preso in esame l'azienda NQ042 che insiste nel territorio montano del Tanagro e più precisamente nella provincia di Salerno nel Comune di Buccino. L'azienda in esame è la **Chemiplastica Specialties Spa**; stabilimento classificato come chimico o petrolchimico soggetto alla disciplina del D.Lgs.238/05.

*Esempio non  
esaustivo di  
una azienda  
RIR*

Questo tipo di insediamento, ricadendo nelle more dell'art.8 del su citato decreto, rappresenta un elemento di notevole interesse da un punto di vista della severità.

La cosa che lascia basiti è che l'impianto ricade in una zona ASI nata con le leggi speciali per il rilancio delle aree depresse dopo il sisma del 23 novembre 1980 ed è privo di barriere.

Inoltre, il sito dista poche centinaia di metri dal letto di un fiume a carattere torrentizio (fiume Bianco) innalzando così il rischio idrogeologico del sito industriale.



**Figura 11 – Zona ASI del Comune di Buccino (SA) che ospita la Chemiplastica Specialties Spa**

### 2.3 IL RISCHIO SOCIALE

---

La valutazione del rischio sociale o collettivo, si rappresenta mediante le curve F-N e utilizza gli stessi dati di sorgente considerati per il calcolo del rischio individuale, ovvero le stesse variabili che caratterizzano gli scenari incidentali e le informazioni meteo, ma richiede inoltre la combinazione dei risultati ottenuti in questa prima fase con i dati relativi alla popolazione presente nell'area interessata dagli effetti di incidente.

In particolare, occorre conoscere:

- La tipologia dei vari gruppi di popolazione presenti nell'area interessata;
- La presenza di eventuali gruppi particolarmente vulnerabili;
- I dati relativi alla fluttuazione giornaliera, settimanale e stagionale della popolazione;
- La distribuzione della popolazione con riferimento ai luoghi di presenza, cioè l'entità delle persone che si trovano al chiuso o in situazioni in cui le conseguenze di incidenti possono essere intrinsecamente mitigate o anche enfatizzate.

Usualmente si adottano delle ipotesi semplificative per cui una distribuzione non uniforme della popolazione può essere trattata come se fosse uniformemente distribuita su tutta l'area, anche se tale assunzione può portare a delle sottostime significative nel caso in cui vi fossero concentrazioni di persone, normali o occasionali in qualche punto.

Il risultato finale è dato dalla stima del numero complessivo di persone che subiscono un dato danno e viene ottenuto mediante applicazione delle seguenti relazioni:

$$N_i = \sum_{x,y} P_{x,y} P_{ft} \quad \text{Equazione 4}$$

Dove :

$N_i$  è il numero dei morti

$P_{x,y}$  è il numero di individui presenti nel punto  $x,y$

$P_{ft}$  è la probabilità che al tempo  $t$  si manifesti un danno nel punto geografico  $x,y$

La stima del numero di colpiti dal danno viene eseguita per ciascuno degli scenari incidentali ipotizzati, quindi è necessario ricavare il valore cumulato della frequenza attesa degli scenari

$$F_N = \sum_i F_i \quad \text{Equazione 5}$$

Dove

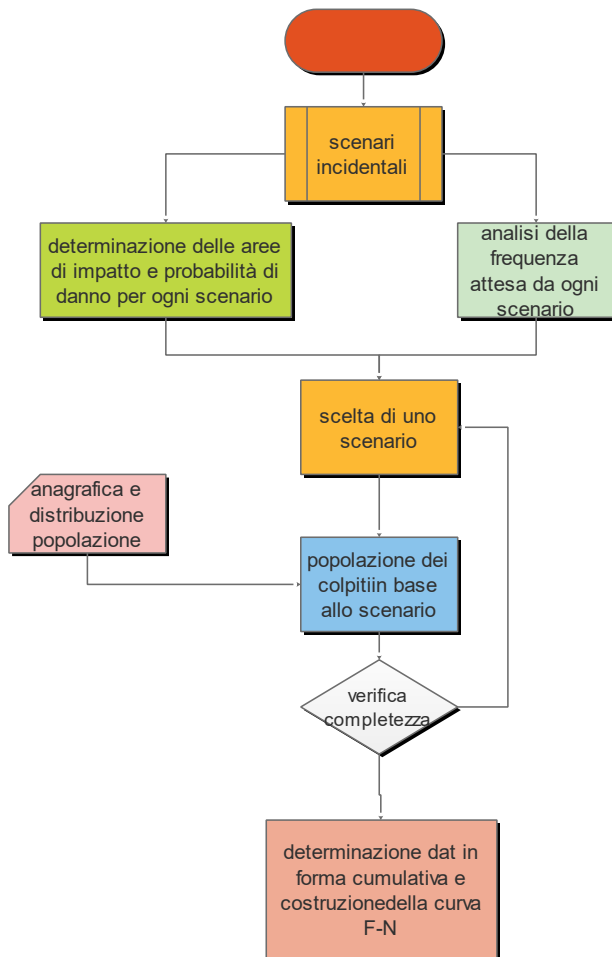
$F_x$  frequenza attesa di tutti gli scenari che comportano  $N$  o più colpiti

$F_t$  frequenza attesa dello scenario incidentale

La presenza e la possibilità di avere per ogni condizione una molteplicità di scenari legati alla variabilità di tutti i fattori che ne determinano lo stato come le condizioni

metereologiche o dalla classe della popolazione coinvolta. Questa e altre ragioni ci invitano ad adottare ulteriori e più stringenti ipotesi.

Anche i fattori di mitigazione, pur potendo essere inclusi nel calcolo del rischio collettivo, vengono spesso approssimati mediante l'applicazione di un coefficiente di riduzione stimato empiricamente, anche se ciò comporta un'ulteriore imprecisione nel risultato finale.



**Figura 12 – Schema di flusso del rischio sociale**

## CAP. 3 - Metodologie e modelli nella Valutazione dei Rischi

### *3.1 L'approccio classico: Metodi Predittivi*

---

L'utilizzo del Metodo indicizzato di analisi dei rischi, permette la suddivisione preliminare di una attività industriale in aree a maggiore o minore rischio.

Le aree caratterizzate dagli indici di valore più elevato saranno oggetto di un esame più approfondito.

Il metodo si basa sui seguenti passaggi:

1. Suddivisione dell'azienda in impianti e dell'impianto in unità logiche
2. Calcolo del Fattore sostanza (proprietà relative all'infiammabilità)
3. Calcolo dell'indice intrinseco di tossicità (proprietà relative alla tossicità)
4. Calcolo dei fattori di penalità
5. Calcolo dei fattori compensativi
6. Calcolo degli indici di rischio
7. Calcolo degli indici di rischio compensati

Identificazione degli eventi incidentali

L'identificazione degli eventi pericolosi che possono verificarsi nella installazione si basa su due tecniche complementari:

- Analisi storica
- Metodi predittivi
- Analisi Storica
- Si esamina l'esperienza incidentale che la storia dell'industria rende disponibile, per produrre liste di incidenti già verificatisi per ogni tipologia impiantistica.
- Possono essere consultate le Banche di Dati sugli incidenti.

Ad integrazione dell'analisi storica (che fornisce informazioni sui possibili incidenti che potrebbero verificarsi nell'installazione in esame, in quanto già verificatisi in passato in installazioni analoghe), occorre utilizzare metodi predittivi per identificare possibili rischi aggiuntivi.

L'identificazione logica degli eventi indesiderati viene effettuata secondo due modalità di indagine:

- quella induttiva che dalle cause iniziali risale all'evento finale, delineando gli scenari evolutivi mediante la verifica di condizioni di successo o fallimento degli eventi individuati;
- quella top-down (tipica dei fault tree) che, partendo da un evento finale (il Top Event), muovendo indietro nel tempo, ne scova le cause<sup>9</sup>.

Metodi predittivi normalmente utilizzati per identificare i rischi connessi con anomalie impiantistiche:

- HAZOP (Hazard & Operability Study)
- FMEA (Failure Mode & Effect Analysis)
- WHAT IF ....

I modelli Failure Mode Effect Analysis – **FMEA** e il Failure Mode Effect Criticality Analysis – **FMECA** sono un insieme di tecniche nate alla fine degli anni '60 per enumerare tutti i componenti evidenziandone i modi di guasto ed i rapporti causa-effetto tra di essi.

- elencare i pezzi;
- descrivere per ogni componente i modi di guasto, gli effetti e le cause;
- attribuire tre indici relativi a Occurrence, Severity, Detectability;
- calcolarne il prodotto detto Risk Priority Number – RPN – (in italiano IPR) in modo da ottenere un 'punteggio' per i diversi guasti.

Altra metodologia analoga alla FMEA, ed è anche uno dei metodi più diffusi e conosciuti per l'analisi del rischio, è il Fault Tree Analysis (FTA) o albero dei guasti.

La **FTA** va annoverata tra i metodi di analisi di tipo deduttivo in quanto, partendo da un'analisi "generale" e complessiva del tipo di guasto (o evento indesiderato sul sistema), arriva ad individuare i guasti sui componenti; contrario della FMEA che partendo dal "particolare", ovvero dai guasti sui singoli componenti, giunge all'individuazione del guasto sul sistema.

*Fault Tree  
Analysis*

Tutti i metodi sul controllo dei processi come l'FTA nascono intorno agli anni '60 presso i laboratori Bell Telephone sostenuto dalla teoria dell'affidabilità ed, in particolare, dall'algebra booleana. Dagli anni '60 in poi FTA ha trovato sempre più occasioni di applicazione, nel mondo manifatturiero come anche più di recente in quello dei servizi, risultando oggi uno dei metodi più semplici ed efficaci nell'analisi dell'affidabilità e sicurezza dei sistemi. Questa una tecnica di tipo top-down di natura deduttiva<sup>10</sup> che permette la rappresentazione di un sistema fisico in un diagramma logico strutturato (il Fault

<sup>9</sup> Pham, 2003, Xing & Amari, 2008

<sup>10</sup> Vesely et al., 1981

Tree) per cui certe specifiche cause pilotano il sistema verso un evento di particolare interesse, il Top Event (TE).

La FTA permette, in modo grafico e logico, di collegare fra loro i guasti dei componenti di un sistema. Lo scopo principale, al contrario della FMEA, non è però quello di individuare le cause dei guasti bensì, partendo da un guasto sul sistema (Evento indesiderato), di metterlo in relazione funzionale con i guasti sui componenti (Eventi base).

Prima di affrontare nel dettaglio la tecnica, possono risultare utili alcune definizioni, che torneranno utili nel seguito.

Evento indesiderato o evento top: rappresenta il guasto relativo al sistema funzionale sotto esame. L'evento top indesiderato può essere combinazione di numerose cause. Esso avrà, cioè, un numero  $n$  di eventi (nodi del sistema) che lo precedono e lo determinano ma nessun evento che lo succede

Combinazione di cause: è il presentarsi simultaneo di guasti degli elementi funzionali che portano all'evento top indesiderato. La più piccola combinazione di guasti ne contiene almeno un numero necessario a causare l'evento top.

Unità esaminata: l'oggetto da esaminare, identificato dalle sue caratteristiche funzionali e costruttive. Unità esaminate possono ad esempio essere sistemi, componenti ed elementi funzionali

*Applicazione  
del metodo  
FTA*

Componente: è l'unità esaminata di livello più basso alla quale può essere assegnato uno o più elementi funzionali

FTA è un metodo dalle applicazioni più varie. può essere usato sia preventivamente (approccio consigliato), oltre che per identificare le cause di non conformità già rilevate.

I vantaggi di tale tecnica risiedono nel fatto che:

- un FT chiarifica e semplifica le logiche del sistema e le cause dell'accadimento del TE;
- la FT-A è una metodologia che consente l'identificazione dei punti deboli del sistema mediante la valutazione di classificazione e sensibilità degli elementi del sistema;
- la FT-A può essere utilizzata anche come design tool per la valutazione e il confronto dei possibili scenari di rischio, aiutando nella scelta della migliore configurazione che soddisfa i requisiti di design.



I simboli utilizzati nel diagramma logico ad albero FTA, sono chiamati *logic gates* e sono simili ai simboli utilizzati dai progettisti di circuiti elettronici digitali: OR ed AND.

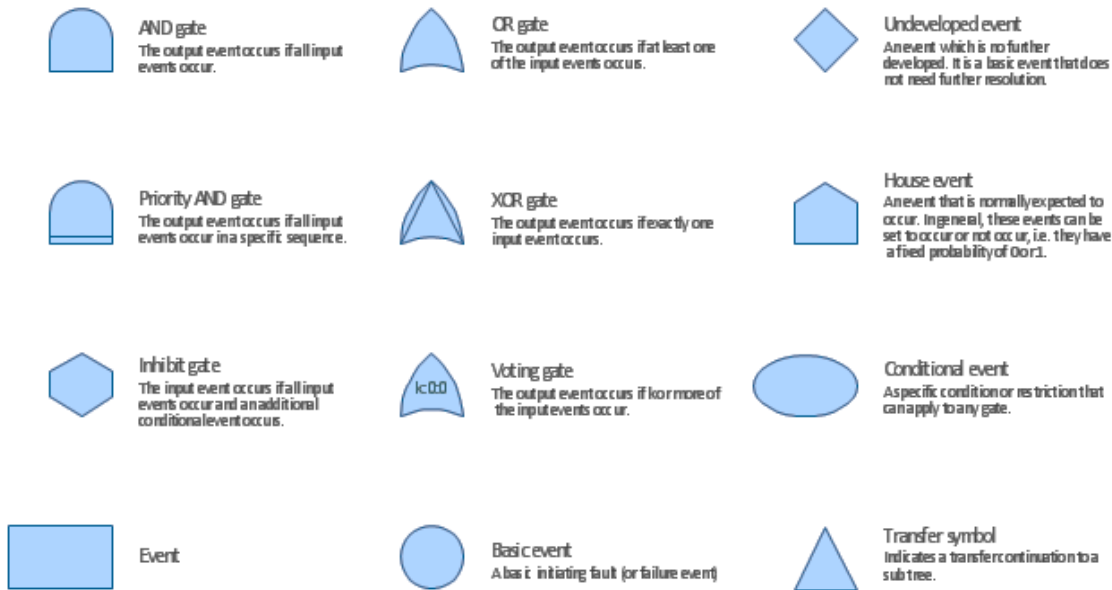


Figura 13 Simbologia grafica di un fault tree <sup>11</sup>

Per poter progettare con un sistema Top Event, bisogna seguire il seguente schema:

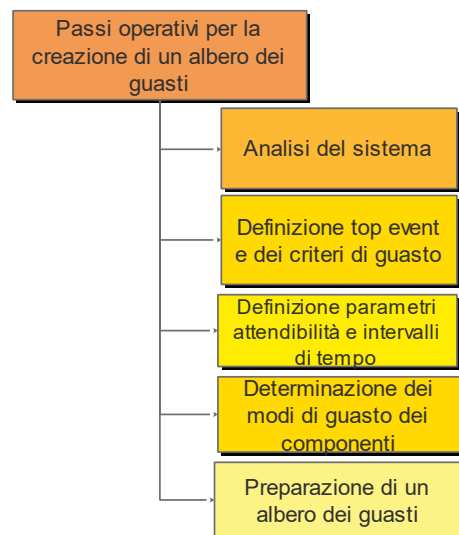


Figura 14 Step per la creazione di un albero dei guasti

Il punto di partenza è lo stato del sistema che può presentarsi esattamente come funzionante o difettoso. All'estremità sinistra di un foglio bianco, oppure in alto centrato, si inserisce l'evento top, come primo nodo contenente la dichiarazione dell'evento indesiderato.

<sup>11</sup> <https://conceptdraw.com/a183c3/preview>

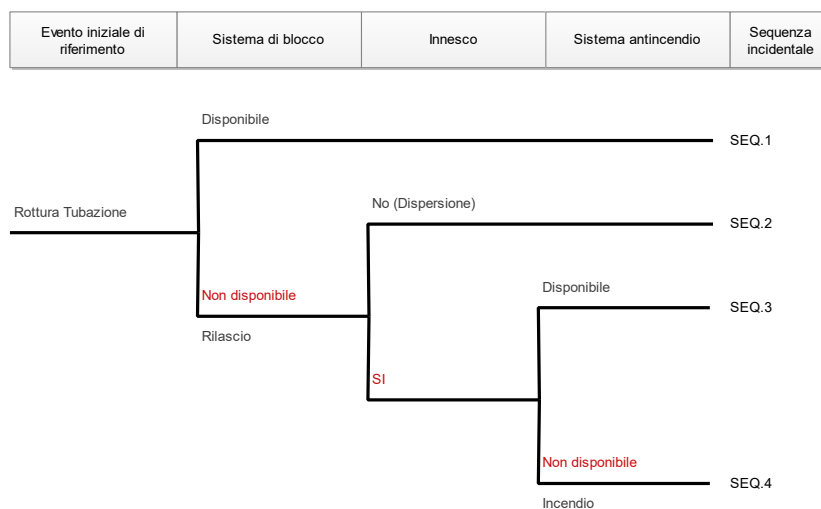
Un altro esempio consiste nell'albero degli eventi in cui, a partire da un evento iniziatore, si vanno a definire punto per punto tutte le criticità del caso. Graficamente si esce dal tratto evento e si sdoppiano i rami: si tenga presente che la somma di due lati contigui deve sempre dare 100%

La stima della frequenza di accadimento relativa alla sequenza incidentale richiede la determinazione della frequenza di accadimento dell'Evento Iniziatore e di tutte le probabilità condizionate degli eventi che completano la sequenza.

Queste informazioni saranno tratte da banche dati commerciali oppure da informazioni derivanti dall'esperienza di impianto. Per gli eventi di natura complessa, quale ad esempio il guasto di una sistema di protezione (es. Antincendio), non essendo possibile ricorrere a dati statistici (i sistemi sono molto diversificati tra loro e quindi non esiste una statistica buona) si ricorrerà a tecniche analitiche che consentono di descrivere il guasto del sistema in termini di guasti più elementari dei suoi componenti (**Albero dei guasti**), eventi per i quali i dati statistici sono più facilmente rintracciabili.

Seguendo questo approccio sarà possibile abbinare ad ognuna delle sequenze incidentali identificate, la frequenza incidentale attesa in termini di occorrenze/ anno.

La stima delle conseguenze, e quindi del danno, prevede invece la simulazione, mediante opportuni modelli, dei fenomeni incidentali delineati sull'albero degli eventi (rilascio di sostanza, dispersione, innesco, incendio ecc.) al fine di delineare l'estensione dell'area di danno per ciascuna sequenza identificata, nonché stimare il danno relativo.



**Figura 15 – Albero degli eventi**

### 3.2 Modello Domino Effect

L'effetto domino è stato introdotto per la prima volta da Lees (1980, 1996) il quale propose due definizioni dell'effetto domino.

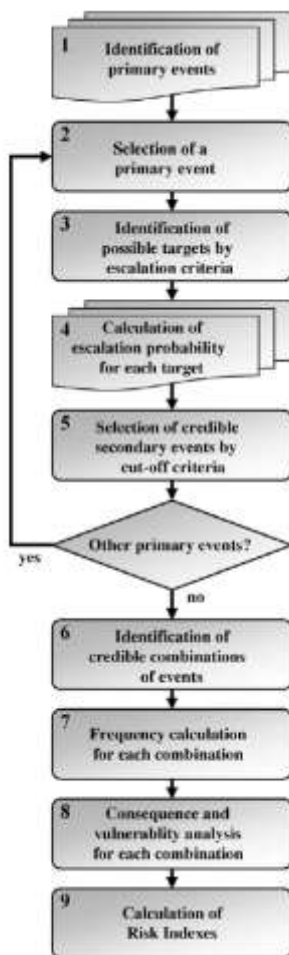
Bagster e Pitblado (1991) definiscono l'effetto domino come una perdita di contenimento di un determinato oggetto risultato di un incidente rilevante all'interno di una unità <sup>12</sup>.

*Definizione di  
effetto domino*

In generale si tratta di un concatenarsi di eventi incidentali tutti generati da un unico evento iniziatore che, nella maggior parte dei casi, appare meno "importante" rispetto allo scenario che ne scaturisce.

Da una ricerca condotta dalle Università di Bologna e Pisa<sup>13</sup> in merito allo studio dell'effetto

domino applicato agli incidenti rilevanti nelle industrie chimiche e di processo, si evidenzia come sia indispensabile individuare lo scenario in cui l'evento stesso si manifesta. Nella stessa ricerca si propone il diagramma di seguito riportato per individuare la procedura da adottare nella valutazione quantitativa dei rischi (QRA) derivanti dagli scenari degli incidenti tipo RIR con innesco di effetto domino. Come si nota dal diagramma, si parte dall'identificazione dell'evento che innesca i successivi, il così detto evento primario.



Per la definizione dei dati utili alla definizione dell'evento, sono necessari:

- un layout del sito da esaminare
- la posizione rispetto al layout dell'area del punto di innesco dell'evento rischioso
- la massima estensione dell'effetto primario(frequenza e analisi delle conseguenze)
- la posizione dei possibili target oggetto di una eventuale escalation
- l'analisi degli effetti secondari dovuti all'innesco dell'evento principale con conseguenti danni alle

**Figura 16** Flow Chart della procedura operativa per la valutazione del Rischio

<sup>12</sup> Bagster D.F., and Pitblado R.M., 1991, The Estimation of Domino Incident Frequencies- An Approach. Trans IChemE, 69:195-199.

<sup>13</sup> V. Cozzani et al. / Journal of Hazardous Materials A127 (2005)

apparecchiature , alle strutture e alle persone.

- A questo punto l'analisi si concentra sullo scenario identificando eventuali altri obiettivi.

La severità degli incidenti dovuti all'effetto domino, ovvero alla propagazione di un singolo evento incidentale a causarne altri, è ben nota. Al di là dei casi degli incidenti rilevati, l'effetto domino ha una sua importanza per spiegare diversi scenari incidentali.

La Direttiva Europea "Seveso III" riconosce l'importanza di questo genere di incidenti in impianti di processo e richiede un'analisi del rischio associato anche al di fuori dei confini del singolo stabilimento, in particolare in aree industriali ad elevata concentrazione di attività a rischio di incidente rilevante.

Gli affetti prossemici vanno ben oltre il solo ambito industriale e possono riguardare vaste aree di territorio che travalicano i confini stessi dell'azienda.

L'analisi e la prevenzione di questi rischi è infatti di particolare importanza in zone dove siano presenti numerose sorgenti di rischio contigue fra loro.

Come già detto nell' introduzione, non sono presenti in letteratura procedure sistematiche di riferimento per una analisi qualitativa e quantitativa del rischio associato a questo tipo di incidenti, né sono disponibili modelli sufficientemente affidabili per il calcolo della probabilità di propagazione di eventi incidentali<sup>14</sup> .

Questa "carenza" è particolarmente importante negli studi di rischio d'area, in cui l'elevato numero di sorgenti analizzate ed il numero di informazioni da gestire richiede lo sviluppo di approcci specifici per l'analisi sistematica dell'effetto domino<sup>15</sup> .

Ci sono studi che hanno tentato di sviluppare una metodologia quantitativa per l'analisi dell'effetto domino, specificamente indirizzata all'utilizzo nell'ambito di studi di rischio d'area<sup>16</sup> Una particolare attenzione è stata dedicata in questi studi, allo sviluppo ed alla validazione di modelli per il calcolo della probabilità di propagazione.

I risultati ottenuti nei precedenti studi hanno permesso di valutare il rischio aggiuntivo dovuto all'effetto domino in un'area industriale. L'approccio sviluppato è stato confrontato con gli approcci basati su "tabelle di vulnerabilità".

---

<sup>14</sup> V. Cozzani et al.- Journal of Hazardous Materials A127 (2005)

<sup>15</sup> D. Egidi, F. P. Foraboschi, G. Spadoni, A. Amendola: "The ARIPAR project: an analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area", Reliability Engineering and System Safety 49:75 (1995)

<sup>16</sup> V. Cozzani, S. Zanelli: "An Approach to the Assessment of Domino Accidents Hazard in Quantitative Area Risk Analysis" in: "Loss prevention and safety promotion in the process industries", H.J. Pasman, O. Fredholm, A. Jacobsson Eds., Elsevier: Amsterdam 2001; p.1263-74

L'analisi di vari casi di studio ha mostrato, inoltre, come l'effetto domino possa aumentare i valori di **rischio sociale**.

L'utilizzo dei metodi probabilistici basati su modelli attendibili di danno, ha mostrato come i valori del rischio ottenuti da valutazioni dell'effetto domino basate su tabelle di vulnerabilità possano essere eccessivamente conservativi, evidenziando l'importanza dell'ulteriore sviluppo e validazione di modelli di danno per tutti i potenziali vettori di propagazione degli incidenti.

Nell'approccio utilizzato per la valutazione, sono state identificate due tipologie di effetto domino:

- i) propagazione di eventi iniziatori di limitata gravità (EILG)
- ii) interazione di "top-events" distinti.

Non è possibile in generale trovare un algoritmo "universale" per il calcolo dell'effetto domino: in realtà variando lo scenario incidentale, variano tutta una serie di parametri che renderebbero impossibile la realizzazione di un unico modello.

### 3.2.1 Il metodo Augustus

---

La dinamicità e l'affidabilità dei piani di emergenza sono garantite, almeno in via teorica, dalla metodologia prodotta nel 1995 da un gruppo di funzionari del Dipartimento di Protezione Civile e del Ministero dell'Interno, il Metodo Augustus.

Il nome del metodo è da attribuire ad una celebre frase pronunciata dall'imperatore romano Ottaviano Augusto: «Il valore della pianificazione diminuisce con la complessità dello stato delle cose». L'aver assunto come linea programmatica questa frase sottolinea l'assunzione di altri due concetti alla base della pianificazione e gestione dell'emergenza: semplicità e flessibilità. In sostanza si riconosce l'impossibilità di prevedere nel dettaglio le evoluzioni possibili che possono scaturire dall'esplosione dell'emergenza. Le strutture quindi, devono assumere una conformazione che meglio si addice alla tipologia di emergenza che va evolvendosi, tenendo sempre in considerazione le caratteristiche del territorio, del sistema umano e delle risorse di cui si dispone.

Il Metodo Augustus intende dare, perciò, non una soluzione agli eventi che potrebbero manifestarsi, ma una unitarietà di indirizzi nella pianificazione e gestione. Questo rende possibile l'integrazione verticale dei vari piani redatti rispettivamente dalle autonomie locali, dagli enti provinciali, regionali e nazionali.

Il sistema Augustus, raggiunge questo obiettivo prevedendo la redazione del piano in tre parti:

- Parte generale, si raccolgono tutte le informazioni relative alla conoscenza del territorio, alle reti di monitoraggio presenti, alla elaborazione degli scenari di rischio;
- Lineamenti della Pianificazione, si individuano obiettivi da conseguire, per dare una adeguata risposta di protezione civile ad una qualsiasi emergenza, ivi compresi gli strumenti atti a mitigare o a ridurre al minimo il rischio di incidenti e l'insorgere di emergenze;

Modelli di intervento, si assegnano le responsabilità nei vari livelli di comando e controllo per la gestione delle emergenze, si realizza il costante scambio di informazioni nel sistema centrale e periferico di protezione civile, si utilizzano le risorse in maniera razionale.

Per poter gestire e redigere il piano di emergenza secondo i fondamenti di flessibilità, semplicità, affidabilità e dinamicità, il metodo Augustus articola le varie componenti che partecipano alla pianificazione e gestione in 14 funzioni di supporto, sia a livello provinciale che a livello regionale, ridotte a 9 per quanto riguarda i comuni. Le funzioni sono così definite:

1. Tecnico – scientifico – pianificazione;
2. Sanità – assistenza sociale – veterinaria;
3. Mass media e informazione;
4. Volontariato;
5. Materiali e mezzi;
6. Trasporto – circolazione e viabilità;
8. Telecomunicazioni;
9. Servizi essenziali;
10. Censimento danni a persone e cose;
11. Strutture operative S.a.R. (Search and Rescue)
12. Enti locali;
13. Materiali pericolosi;
14. Logistica evacuati – zone ospitanti;
15. Coordinamento centri operativi.

A livello comunale le 9 funzioni di supporto sono quindi:

1. Tecnico, scientifica, pianificazione;
2. Sanità, assistenza sociale, e veterinaria;
3. Volontariato;
4. Materiali e mezzi;
5. Servizi essenziali e attività scolastica;
6. Censimento danni a persone e cose;
7. Strutture operative locali;
8. Telecomunicazioni
9. Assistenza alla popolazione.

In particolare le funzioni di supporto permettono di conseguire due obiettivi primari per rendere efficace ed efficiente il piano di emergenza: innanzitutto si intende avere per ogni funzione di supporto la disponibilità delle risorse fornite da tutte le amministrazioni pubbliche e private che concorrono all'emergenza e, quindi, affidare al responsabile della funzione di supporto sia il controllo della specifica operatività, sia l'aggiornamento di questi dati nell'ambito del piano di emergenza. Secondo le linee tracciate dal metodo Augustus l'esistenza delle funzioni di supporto non dovrebbe essere limitata alla sola gestione dell'emergenza, ma prevede che i responsabili lavorino in "tempi di pace" per l'aggiornamento dei piani, incrementando l'attitudine alla collaborazione, al coordinamento e alla diffusione della conoscenza.

Il metodo Augustus, oltre che ad individuare le funzioni di supporto che, a seconda della tipologia dell'evento da fronteggiare devono essere attivate, individua la diversità dei ruoli di intervento delle varie componenti di protezione civile.

A livello provinciale il modello di gestione prevede l'istituzione di due diversi organi di controllo e comando: il Centro Coordinamento Soccorsi (CCS) e la Sala Operativa. Il CCS si configura come l'organo di coordinamento provinciale ove si individuano le strategie generali di intervento, mentre è compito della Sala Operativa raccogliere le esigenze di soccorso e rispondere secondo le indicazioni provenienti dal CCS. È possibile quindi attribuire al CCS il ruolo di stratega nella gestione dell'emergenza mentre nella Sala Operativa vengono implementate le linee da esso tracciate ed è per questo che le funzioni di supporto sono previste all'interno di questo organo.

Al CCS e alla Sala Operativa si aggiungono altri due livelli di coordinamento e gestione. L'ultimo livello è costituito dal COC, Centro operativo comunale. Il COC è l'organo di supporto all'attività in emergenza del Sindaco, il quale è l'Autorità comunale di protezione civile. Il Centro Operativo Comunale assiste quindi il Sindaco per la direzione e il coordinamento dei servizi di soccorso e assistenza alla popolazione colpita, e deve, quindi, necessariamente rispecchiare l'organizzazione della Sala Operativa e prevedere sia in tempi di pace che nei momenti di emergenza la partecipazione delle strutture di supporto previste a livello comunale. Il Centro Operativo Comunale diventa, per la sua configurazione e le conoscenze specifiche del territorio e della comunità, lo strumento di primo intervento e prima assistenza alla popolazione nelle situazioni di emergenza.

Tuttavia le situazioni possono coinvolgere più comunità vicine, o richiedere risorse di cui il comune non dispone *in toto*, inoltre gli effetti di incidenti o situazioni calamitose avvenute al di fuori del territorio di propria competenza possono ripercuotersi al di là dei confini.

Per consentire una gestione integrata dell'emergenza da parte di più comuni, sottolineando l'importanza del mutuo soccorso e l'accesso a tutte le risorse idonee a ridurre al minimo i rischi derivanti da eventi pericolosi, il metodo Augustus prevede la formazione di organi intermedi tra le strutture provinciali di protezione civile, CCS e Sala Operativa, e le strutture comunali.

Tali organi sono i Centri Operativi Misti, COM. Il COM è quindi la struttura decentrata del coordinamento provinciale per meglio svolgere la direzione unitaria dei servizi di emergenza coordinandoli a livello provinciale con gli interventi dei Sindaci dei Comuni afferenti al COM stesso (Santoianni, 2007).

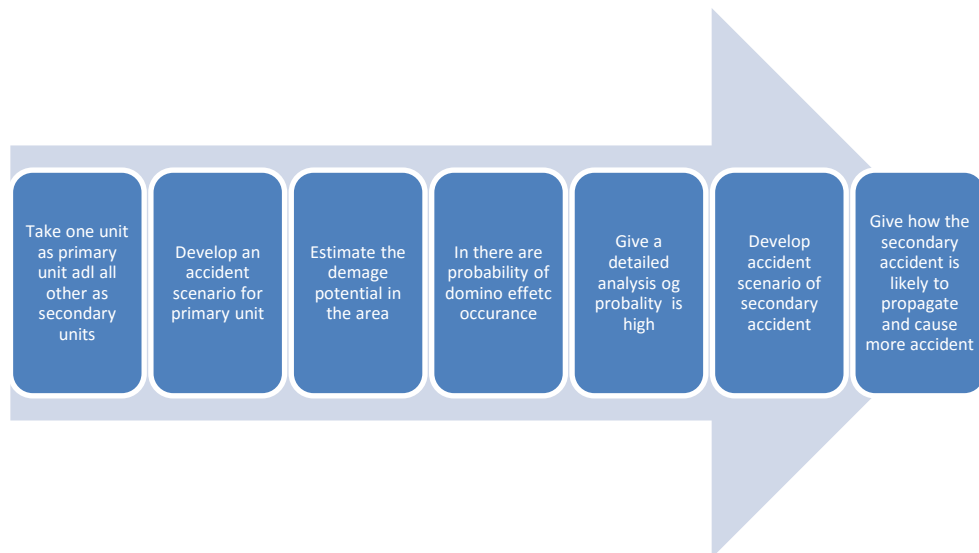


Il metodo Augustus rappresenta, quindi, il punto di riferimento per tutti gli operatori di protezione civile che, con competenze diverse, sono impegnati quotidianamente ad affrontare emergenze che spesso richiedono modelli di intervento e soluzioni a problematiche specifiche che presentano caratteristiche sempre differenti.

### 3.2.2 La metodologia DEA

Domino Effect Analysis (DEA) è stata introdotta da Khan e Abbasi nel 1986<sup>17</sup> e dagli stessi autori perfezionata nel 2001. Il metodo Domino Analysis Effect (DEA) comprende due livelli di studio, il primo livello è un'analisi dettagliata per identificare le unità che possono essere considerati come bersagli. Per questo vengono utilizzati i valori di soglia dei diversi effetti fisici di (target) apparecchiature industriali (con una sovrappressione di 0,7 atm, un carico termico di 37 kW / m<sup>2</sup>, e un proiettile avente una velocità superiore a 75 m / s). Se i valori stimati di questi parametri nella posizione del bersaglio sono superiori ai valori di soglia, un secondo studio viene eseguito (livello 2), in cui deve essere effettuata una dettagliata analisi per verificare l'esistenza di effetto domino, usando i potenziali danni del primario evento e le caratteristiche della unità secondaria.

Gli stessi autori hanno proposto l'ulteriore metodologia MCAS (Maximum Credible Accident Scenarios) utile per valutare tutti gli scenari di incidenti credibili in un impianto industriale. Questo metodo inizia con lo sviluppo di tutti gli scenari di incidenti plausibili nell'unità, e permette la valutazione dei raggi di danno per ogni scenario accidentale. Una volta che i raggi danni e le probabilità sono noti per ogni evento dannoso, alcuni fattori saranno stimati utilizzando informazioni specifiche del posto, come la densità di popolazione, e la densità di asset presso lo stabilimento industriale [ 60].<sup>18</sup>



**Figura 17- Domino Effect Analysis (DEA) procedura di Khan e Abbasi**

<sup>17</sup> Khan F.I., and Abbasi S.A., 1998, Models for domino effect analysis in chemical process industries. *Process Safety Progress-AIChE*, 17(2):107-113.

<sup>18</sup> Khan, F. I. & Abbasi, S. A., 2002, Criterion for developing credible accident scenarios for risk assessment *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(6), 467-475

### ***3.2.3 Procedure per l'analisi del domino effect<sup>19</sup>:***

---

Una procedura sistematica per la valutazione quantitativa del rischio causato da effetto domino per impianti industriali è stato sviluppato da Valerio Cozzani. Questa metodologia si propone di calcolare la probabilità di propagazione di scenari principali, le frequenze attese di eventi domino, e ha permesso di stimare il contributo di scenari domino di individui così come rischio sociale.

Il punto di forza di questa metodologia, è che prende in considerazione la combinazione di questi eventi stimando le probabilità, che è una tecnica sopra semplificata limitata a valutare solo gli eventi primari senza tener conto della probabilità di escalation di eventi secondari.

#### ***3.2.3.1 Methodology for the quantitative risk assessment of accidents triggered by seismic events<sup>20</sup>:***

---

Una metodologia analitica per la valutazione quantitativa del rischio industriale a causa di incidenti innescati da eventi sismici è stato sviluppato da Antonioni-Spadoni-Cozzani. Questa procedura si basa sull'utilizzo di dati disponibili (dati storici) per valutare le frequenze attese e grandezza di eventi sismici. Pertanto, esso utilizza attrezzature dipendente modelli probabilità di guasto (curve di fragilità) di valutare la probabilità danni di elementi di equipaggiamento. L'obiettivo principale di questa procedura è di:

- Identificare gli scenari accidentali che possono seguire un evento sismico,
- Valutare la credibilità degli eventi accidentali, e
- Valutare le conseguenze attese dei possibili scenari.

#### ***3.2.3.2 Procedure for the quantitative assessment of industrial risk caused by lighting<sup>21</sup>:***

---

Due anni dopo, il team Renni-Antonioni-Cozzani et altri, ha proposto un approccio in forma di un diagramma di flusso, questo metodo permette di valutare scenari accidentali provocate da fulmini. Il verificarsi di un fulmine può provocare danni ad apparecchiature industriali / installazioni che contengono elevate quantità di composti pericolosi. Le fasi principali del metodo sono:

---

<sup>19</sup> Cozzani V., et al., 2005, The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. Journal of Hazardous Materials, 127:14-30.

<sup>20</sup> Antonioni, G.; Spadoni, G. & Cozzani, V., 2007, A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events, Journal of Hazardous Materials, 147(1-2), 48-59

<sup>21</sup> Renni, E.; Antonioni, G.; Bonvicini, S.; Gigliola, S. & Cozzani, V., 2009, A novel framework for the quantitative assessment of risk due to major accidents triggered by lightning, Chemical Engineering Transactions, 17, 311-316

- Caratterizzazione di evento esterno (frequenza e gravità), l'identificazione del dispositivo target, stati di danno e scenari di riferimento,
- Stima della probabilità di danno, calcolo conseguenze per gli eventi, ed ogni combinazione di eventi,
- Calcolo della frequenza / probabilità per ogni combinazione e il calcolo degli indici di rischio / pericolo.

### ***3.2.3.3 FREEDOM algorithm (FREquency Estimation of DOMino accidents):***

---

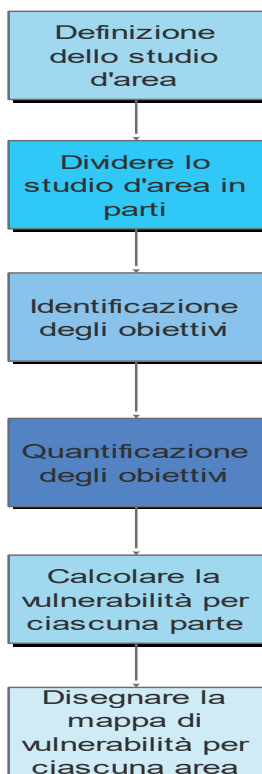
Un metodo più recente di valutare gli effetti domino basato su simulazione Monte Carlo è stato sviluppato da [63], gli autori hanno sviluppato un algoritmo di libertà, che è basato su conducendo diversi esperimenti ipotetici per simulare il comportamento reale di un sistema multi-unità. Il sistema è definito come la combinazione di attrezzature presenti in un impianto industriale che possono influenzare il fallimento di ogni altro. Questo strumento, esamina il fallimento di ogni apparecchiatura nell'unità industriale.

L'algoritmo FREEDOM ha due anelli interni ed esterni. Il ciclo interno, che è rappresentativo della vita media delle apparecchiature, è selezionato in base al tasso di guasto delle apparecchiature. L'anello esterno, che opera per le iterazioni o esperimenti che vengono eseguite N volte.

### 3.2.3.4 Metodologia Saaty per la Valutazione della vulnerabilità

L'entità dell'impatto che un fattore di rischio può generare su un certo contesto territoriale è strettamente correlata alla vulnerabilità di tale contesto, cioè alla predisposizione intrinseca degli elementi antropici di tale area a subire danni, ed al grado di resilienza degli stessi elementi antropici. La vulnerabilità di un territorio è determinata dalla presenza dei seguenti elementi sensibili:

- edifici ad uso ospedaliero;
- edifici ad uso scolastico;
- edifici ad uso turistico (alberghi, campeggi, etc.);
- stazioni;
- impianti sportivi con capienza superiore a 10.000 posti;
- aeroporti;
- centri commerciali;
- aree fieristiche.



**Figura 18 Schema per la determinazione della Vulnerabilità**

Un metodo messo in pratica per la valutazione della vulnerabilità è appunto quello di Saaty: questo si basa sull'applicazione di un indice di vulnerabilità. Tale 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

*Metodo Saaty*

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. Si può utilizzare 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.

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 (H1);
- Popolazione locale (H2);
- Popolazione presente in stabilimenti accoglienti pubblico (H3);
- Utenti nelle vie di comunicazione (H4).

- Ambiente (E):

- Aree agricole (E1);
- Aree naturali (E2);
- 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).**

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<sup>22</sup>.

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.<sup>23</sup>

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 sotto problemi 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:

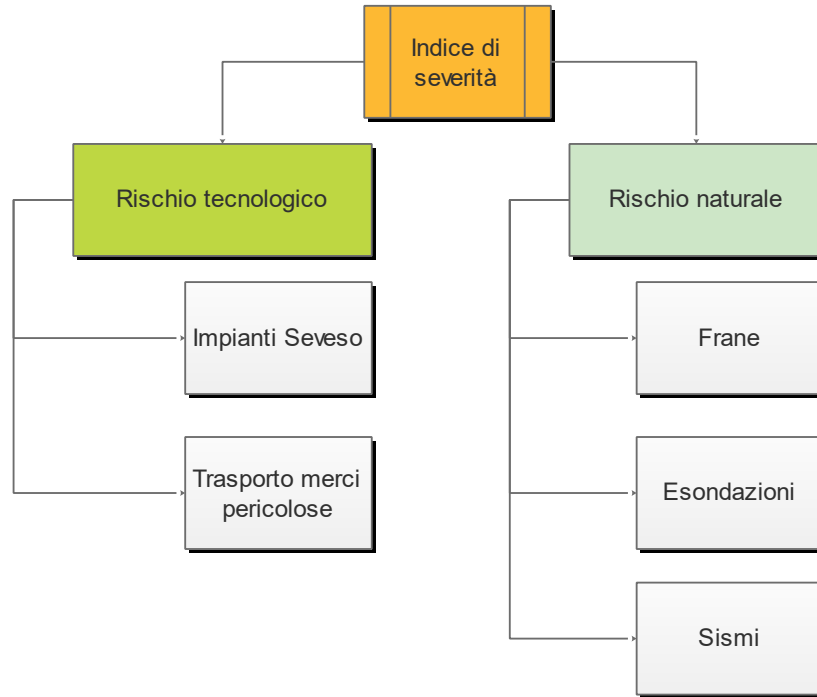
- I sottoproblemi sono ridotti e, quindi, di facile risoluzione;
- L'analisi può essere totalmente qualitativa;
- La tecnica di stima è unica e si basa sui confronti a coppie.
- D'altra parte vanno fatte due critiche molto pesanti e cioè:
- I coefficienti di importanza relativa (pesi) sono stimati con 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.

---

<sup>22</sup> Tesi Stabilimenti A Rischio Di Incidente Rilevante: Valutazione Della Vulnerabilità Ambientale  
Andraghetti Elisa - 2008-09 - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

<sup>23</sup> Tixier et al., 2004



**Figura 19** Struttura Gerarchica del metodo Saaty



### 3.2.3.5 Metodologia GIS per la definizione delle aree di rischio

---

La mappatura del rischio in una certa zona richiede preliminarmente l'individuazione dell'area di studio: essa deve avere dimensioni tali da ricomprendere le zone in cui si possano risentire le conseguenze degli eventi pericolosi considerati. Poiché nel presente studio l'attenzione è focalizzata sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, l'estensione dell'area di studio dovrà essere commisurata al peggiore "top event" previsto per l'impianto considerato.

Le distanze di impatto dipendono dalla sostanza coinvolta, dal quantitativo rilasciato, dalla tipologia di **top event** (incendio, esplosione, nube tossica) e, per alcuni top events, dalle condizioni meteorologiche. Tenuto conto che solo molto raramente la distanza di impatto supera i 5-7 km (grosse nubi tossiche), un'area di studio di 20 km x 20 km, centrata sullo stabilimento sarà adeguata in gran parte dei casi pratici. Per la mappatura del rischio è poi conveniente suddividere l'area di studio in maglie, cui verrà attribuito il valor medio del rischio pertinente la maglia stessa: dimensioni delle maglie di 500 m x 500m sembrano adeguate per gran parte dell'area, anche se nella zona in cui si trova lo stabilimento e nelle sue immediate vicinanze (ad esempio, un'area di 2 km x 2 km centrata sullo stabilimento) si può adottare una magliatura più fitta (ad esempio 50 m x 50 m) per avere un maggior dettaglio dove maggiormente si risentono le conseguenze degli incidenti a maggior frequenza e minore gravità. Per la mappatura del rischio occorre quindi valutare il rischio associato ad ogni fonte di rischio considerata e per ogni maglia in cui è suddivisa l'area di studio e quindi ricomporre il rischio associato alle diverse fonti per pervenire a mappe del rischio tecnologico, del rischio naturale e del rischio globale.

Un esempio lo possiamo avere usando gli strumenti gratuiti a disposizione sul Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente ([www.pcn.minambiente.it](http://www.pcn.minambiente.it)) in cui sono consultabili le cartografie di tutta l'Italia (in realtà di tutto il pianeta). Attraverso l'utilizzo di uno strumento integrato nel portale, è possibile individuare l'area di interesse attraverso le coordinate gaussiane. Per riprendere l'esempio utilizzato nella individuazione dei siti RIR in Campania, possiamo inserire le seguenti specifiche:

- Scala 1: 1000
- Regione CAMPANIA
- Provincia SALERNO
- Comune BUCCINO
- Lon/Lat 15.36893 ; 40.59419
- X/Y 531.217,38 ; 4.493.775,72

A questo punto il sito è in grado di restituire una mappa topografica estremamente dettagliata dell'area. Si possono importare facilmente mappe digitali o cartografiche in scale variabili per aree tipiche da 1 :25 000 a 1 :100 000 ; quelle satellitari rappresentano un'ottima soluzione qualora non siano disponibili cartografie aggiornate. Le mappe «raster» consentono successivamente una agevole interpretazione degli «strati» che rappresentano gli elementi dell'area interessanti ai fini dell'analisi dei rischi complessiva : essi riguardano la *maglia di calcolo*, i centri di vulnerabilità e le sorgenti di rischio.



**Figura 20 – Dettaglio Geoportale Nazionale dell'area industriale di Buccino (SA) in cui è ospitata la Chemiplastica**

Nella sezione Toolkit presente sul portale, è possibile scaricare la versione GIS della mappa e in questo modo, utilizzando uno strumento software tipo ArcGIS o altri (sono presenti anche versioni gratuite di alcuni software GIS) è possibile rielaborare la mappa.

Uno strumento poco preciso (l'ideale sarebbe usare il software ARIPAR- GIS o similari) ma alquanto utile per simulare un evento catastrofico è Earth Alerts: questo programma utilizza alcuni data base che raccolgono dati sulle previsioni del tempo, terremoti e altri eventi e fa una simulazione per prevedere eventi catastrofici imminenti. Utile per direzione del vento, presenza di nuvole nella stratosfera e altri dati del genere, risulta poco attendibile per prevedere eruzioni, terremoti e altri eventi di questo tipo.

Tuttavia si basa sullo stesso algoritmo utilizzato è lo stesso che viene adoperato dalla Protezione Civile per la previsione di calamità naturali e per il calcolo dei rischi locali e individuali oltre che per quelli sociali.

La metodologia GIS è in grado di fare una dettagliata mappa dell'area e restituisce quote di livello e altre informazioni che, insieme ad algoritmi di simulazione, possono dare utili indicazioni sulla distribuzione e la propagazione di vapori e fumi, onde di pressione e calore.

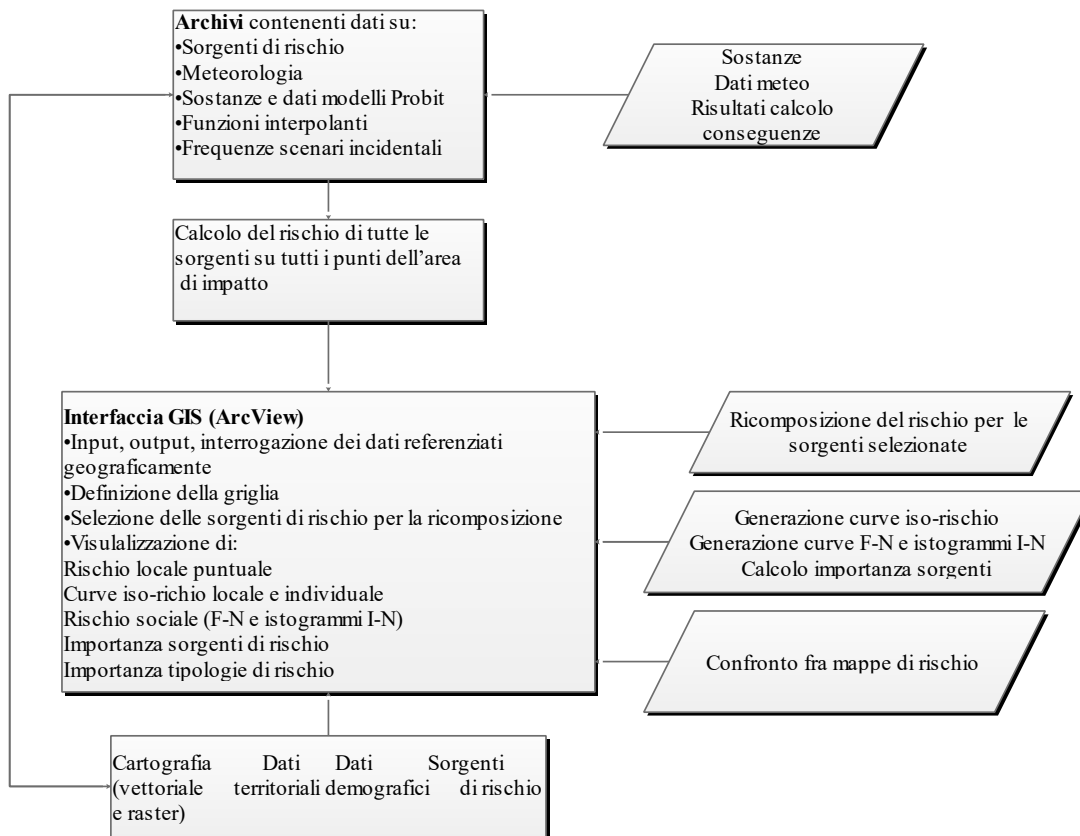


Figura 21- Schema semplificato dei software tipo ARIPAR-GIS

### 3.3 ANALISI QUANTITATIVA (QRA)

---

Il Quantitative Risk Assessment (QRA) è uno strumento di valutazione per la determinazione dei rischi utilizzato nel trattamento, trasporto e immagazzinamento di sostanze pericolose e affrontato nelle Guidelines for quantitative risk assessment. Il QRA è particolarmente usato nei Rapporti di Sicurezza (Safety Report) per spiegare i rischi causati dalle attività e riferire alle autorità competenti informazioni rilevanti per attivare decisioni sui rischi accettabili connessi al sito, o intorno ad esso o al trasporto su ruota.

L'analisi degli effetti domino che si manifestano all'esterno dello stabilimento, pone anche problemi di natura gestionale, visto che necessariamente richiede uno scambio di informazioni tra aziende potenzialmente concorrenti. E' evidente perciò che lo studio dell'effetto domino tra stabilimenti contigui è strettamente connesso agli studi di rischio d'area ed alle strategie di pianificazione del territorio<sup>24</sup>.

Se un Quantitative Risk Assessment viene considerato parte di un Safety Report, non è necessario valutare i rischi di tutte le installazioni all'interno dello stabilimento. Tuttavia, è importante considerare tutti i contributi sostanziali delle installazioni che causano rischi nello stabilimento. Quindi un metodo di selezione, basata sulla quantità delle sostanze presenti in una installazione e nelle condizioni del processo, è sviluppata per determinare quale installazione deve essere considerata in una QRA.

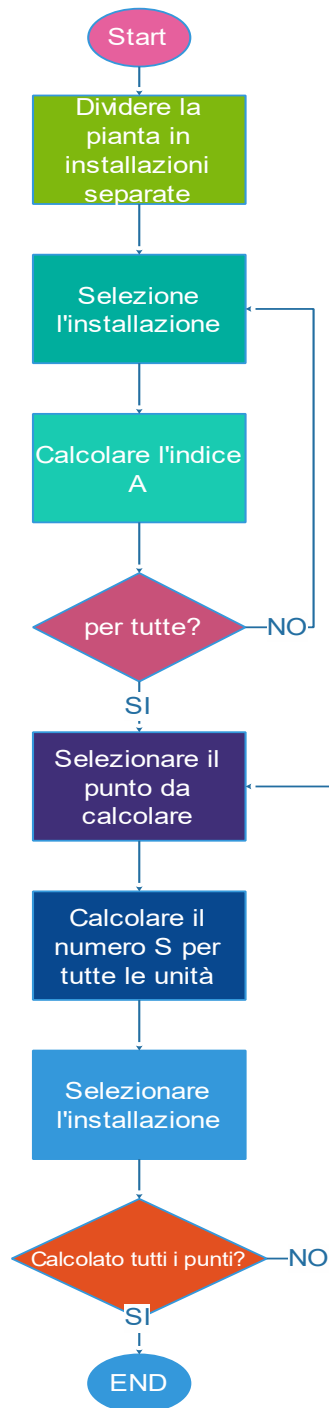
Per l'applicazione del QRA, quindi, una volta individuata l'area di analisi e identificate le sostanze, possiamo scegliere il metodo di selezione come segue:

- 1- Lo stabilimento viene suddiviso in numeri indipendenti di installazioni,
- 2- Viene selezionato lo stabilimento e per questo, in base al valore intrinseco di pericolo legato alle sostanze e ad altri fattori, viene calcolato il valore A
- 3- Si esegue il calcolo per tutte le unità in cui è stato diviso lo stabilimento
- 4- Si seleziona un punto in cui andremo ad eseguire il calcolo della S (vedremo poi come si ottiene) e lo si calcola per tutti i punti
- 5- Alla fine di tutti gli step si sarà calcolato il valore del pericolo intrinseco per l'installazione selezionata per l'analisi QRA, in base alla relative magnitudo

Considerando che il valore intrinseco del pericolo in una installazione dipende fondamentalmente dalle quantità di materiale, dalla loro natura e da come vengono conservate.

---

<sup>24</sup> V. Cozzani, L. Foschi, G. Francalanza, S. Zanelli - Metodologie quantitative per l'analisi dell'effetto domino in studi di rischio d'area – Atti del DIMNP 015-2002



**Figura 22 Schema del metodo di selezione**

La prima fase consiste nella suddivisione dell'area dell'azienda in più parti; tra le varie parti in cui abbiamo suddiviso l'area dobbiamo escludere quelle che non danno nessun contributo alla propagazione del rischio vuoi per il tipo di materiale, sostanze o distanza tra le altre parti. In effetti le interazioni tra le parti sono legate diversi fattori fisici. Inoltre in generale si possono distinguere anche diverse destinazioni d'uso, come ad esempio magazzini, produzione ecc.

Nel caso di aziende di processo di tipo RIR, tale analisi è complessa e viene fatta in accordo con le autorità e gli operatori dell'azienda: la difficoltà è quella di reperire notizie utili dall'azienda in quanto vi è una certa reticenza a far conoscere il proprio ciclo produttivo e altre informazioni ritenute sensibili.

Il valore del fattore A rappresenta la misura del valore del rischio intrinseco all'installazione e si può ottenere dalla relazione:

$$A = \frac{Q \times Q_1 \times Q_2 \times Q_3}{G} \quad \text{Equazione 6}$$

Dove :

Q è la quantità di sostanza (kg)

O<sub>i</sub> sono i fattori di processo: O<sub>1</sub> – valore che descrive il processo o il magazzino, O<sub>2</sub> – valore che tiene conto della posizione; O<sub>3</sub> – fattore che tiene conto delle condizioni fisiche, le fasi per le sostanze presenti. Per gli esplosivi i valori sono uguali tutti a O<sub>i</sub>=1

G è un valore limite

I Valori di O<sub>i</sub> sono calcolati con metodo tabellare secondo le seguenti tabelle:

**Tabella 15 Valori per il fattore O<sub>1</sub>**

Tipo	Q <sub>1</sub>
Installazione per processo	1
Installazione per magazzino	0.1

**Tabella 16 – Valori per il fattore O<sub>2</sub>**

Posizione	O <sub>2</sub>
Installazione esterna	1.0
Installazione al chiuso	0,1
Installazione situata in un Bund e con processo a temperatura T <sub>p</sub> senza punto critico in atmosfera T <sub>bp</sub> più 5 °C e T <sub>p</sub> ≤ T <sub>bp</sub> + 5 °C	0.1
Installazione situata in un Bund e con processo a temperatura T <sub>p</sub> con più punto critico in atmosfera T <sub>bp</sub> più 5 °C e T <sub>p</sub> >T <sub>bp</sub> + 5 °C	1.0

**Tabella 17 – Valori per il fattore O<sub>3</sub>**

Fase	Q3
Sostanza in fase gassosa	10
Sostanza in fase liquida	
Pressione saturazione di 3 bar o oltre	10
Pressione di saturazione tra 1 e 3 bar	X+
Pressione di saturazione meno di 1 bar	Pi+ Δ
Sostanza in fase solida	0.1

Come si vede, nella determinazione di O<sub>3</sub> i valori sono affetti da un delta che si può calcolare secondo la seguente tabella:

**Tabella 18 - valori del Δ**

	Δ
-25 °C ≤ Tbp	0
-75 °C ≤ Tbp < -25 °C	1
-125 °C ≤ Tbp < -75 °C	2
Tbp < -125 °C	3

I valori limiti del fattore G possono essere desunti dalla tabella seguente:

**Tabella 19 Valori per il fattore G**

LC50 (rat, inh, 1h) (mg m-3)	Phase at 25 °C	Limit value (kg)
LC ≤ 100	gas	3
	liquid (L)	10
	liquid (M)	30
	liquid (H)	100
	solid	300
100 < LC ≤ 500	gas	30
	liquid (L)	100
	liquid (M)	300
	liquid (H)	1000
	solid	3000
500 < LC ≤ 2000	gas	300
	liquid (L)	1000
	liquid (M)	3000
	liquid (H)	10,000
	solid	∞
2000 < LC ≤ 20.000	gas	3000
	liquid (L)	10.000
	liquid (M)	∞
	liquid (H)	∞
	solid	∞
LC > 20,000	all phases	∞

Chiaramente il valore di A deve essere calcolato per tutte le unità in cui noi abbiamo suddiviso l'area e quindi quello che otterremo è una sommatoria di tutti i valori A e dei relativi fattori che ne determinano il risultato tenendo conto che è possibile raggruppare i materiali secondo la classificazione di tossico, infiammabile e esplosivo.

**Equazione 7 (Classificazione dei valori di A)**

$$A^T = \sum_{i,p} A_{i,p}$$

$$A^F = \sum_{i,p} A_{i,p}$$

$$A^E = \sum_{i,p} A_{i,p}$$

Il valore S è legato ai fattori A moltiplicato per un fattore di  $(100/L)^2$  per le sostanze tossiche,  $(100/L)^3$  per le infiammabili e le esplosive, ovvero:

**Equazione 8 (Valori S per le sostanze)**

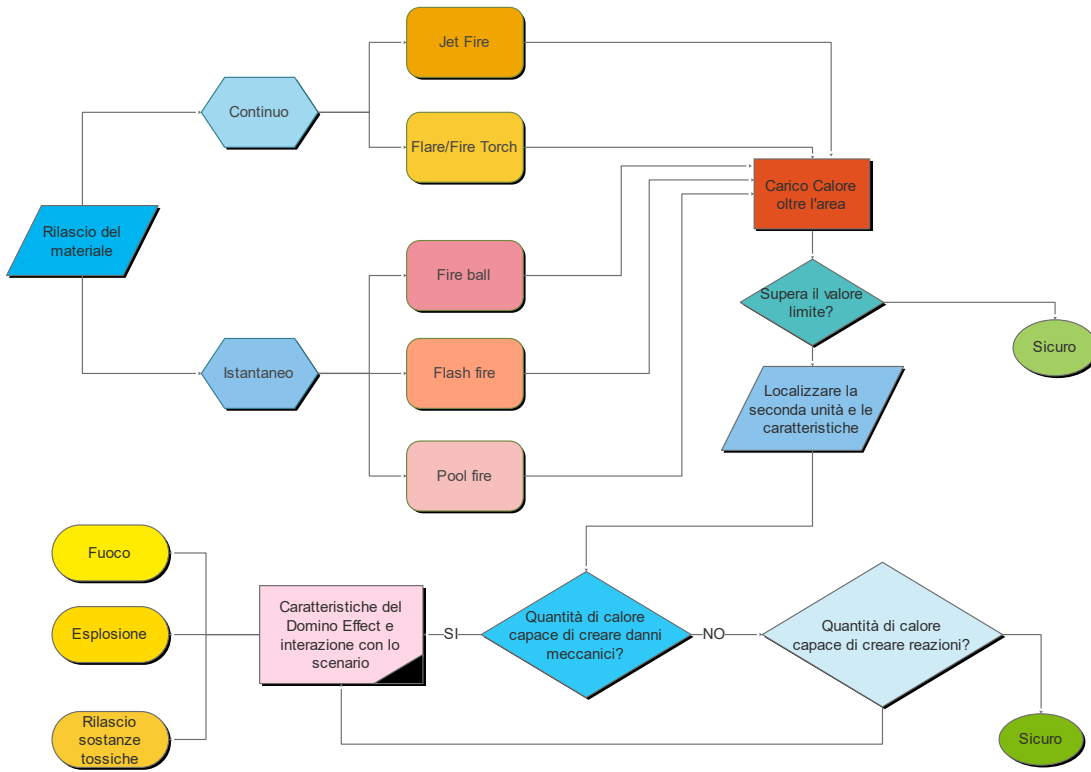
$$S^T = \left(\frac{100}{L}\right)^2 A^T$$

$$S^F = \left(\frac{100}{L}\right)^3 A^F$$

$$S^E = \left(\frac{100}{L}\right)^3 A^E$$

L rappresenta la distanza tra le varie unità, ponendo come minimo 100m.





**Figura 23 Schema di valutazione reazioni**

### *3.4 Strumenti e software per lo studio dell'effetto domino*

---

Lo sviluppo del settore ICT ha portato numerosi benefici all'ingegneria: fino a pochi anni fa mancavano del tutto i supporti informatici per poter solo immaginare di implementare un modello matematico e trasformarlo in una applicazione in grado di essere utilizzata da un utente attraverso interfacce intuitive.

Probabilmente il settore che in passato ha spinto maggiormente lo sviluppo di nuovi e più potenti hardware è stato quello dei giochi; attualmente il settore delle comunicazioni ha preso il sopravvento e la miniaturizzazione e lo sviluppo di nuove tecnologie rappresenta un mercato in piena espansione e che non accenna a frenare.

In questo scenario anche l'ingegneria ne ha beneficiato ed oggi sono praticamente di uso comune programmi che, fino a qualche decennio fa, erano utilizzati da pochissimi.

Per quanto riguarda lo studio del fenomeno della propagazione degli effetti legati ad incidenti rilevanti, ovvero il DE, in letteratura sono presenti una serie di software e tools in grado di elaborare una serie di dati e di anticipare le eventuali conseguenze di un incidente con effetto domino.

Per completezza, si riportano i principali tools che trovano applicazioni dirette nella gestione dei RIR.

#### **MAXCRED (MAXimum CREDible accident analysis)**

Per stimare e prevenire gli incidenti con rilasci tossici, esplosioni e incendi nei siti di trattamento chimico, gli autori hanno sviluppato uno strumento informatico automatizzato MAXCRED (massimo analisi incidente credibile). Questo è stato creato è il Metodo evento albero, e l'analisi dell'albero dei guasti. La seconda versione MAXCRED-II può quantitativamente simulare gli incidenti in qualsiasi sito processo chimico

#### **DOMIFFFECT (DOMIno eFFECT)**

È questo uno dei tools maggiormente utilizzato in campo ingegneristico internazionale. Sono numerosi gli studi che si basano su questo applicativo per la valutazione dell'effetto domino.

Un altro strumento software DOMIFFFECT (Effetto domino), sviluppato per l'analisi effetto domino in impianti di trasformazione chimica, si basa sui modelli deterministici utilizzati in combinazione con l'analisi probabilistica. Lo strumento si basa su un metodo di domino sistematica. DOMIFFFECT è un software basato su PC con l'oggetto con architettura orientata

e scritto in C ++. Si compone di sei moduli principali dati, scenari di incidente, di analisi, Domino, la grafica e l'interfaccia utente.

## ARIPAR

Questo è sicuramente uno dei tools made in Italy più interessante tra quelli che sono stati esaminati. Questo tool è stato sviluppato da ricercatori italiani nell'ambito di studi sulle ricadute dell'effetto domino sull'ambiente. Lo scopo nemmeno tanto celato, è quello di realizzare un software di valutazione che è dato dallo sviluppo della procedura utilizzata dal programma Aripar-GIS. L'utilizzo dello strumento software rende possibile in maniera automatizzata sia l'identificazione che l'analisi dell'elevato numero di scenari dovuti all'effetto domino e per valutare e definire come il propagarsi di un evento possa avere effetti sul territorio o come questo lo influenzi.

La figura 24 mostra le informazioni richieste dal software. Queste consistono nella definizione dello scenario secondario da considerare in caso di danneggiamento e da tre modelli di vulnerabilità dell'apparecchiatura rispetto ai tre possibili vettori di propagazione (irraggiamento, sovrappressione e impatto dovuto a frammenti). I modelli di vulnerabilità sono modificabili da utente e sono specifici dell'apparecchiatura associata alla sorgente di rischio. In questo modo è possibile tener conto delle caratteristiche dell'apparecchiatura dal punto di vista di bersaglio secondario. Ovviamente è anche possibile georeferenziare una sorgente solo "passiva", ossia solo come possibile bersaglio di effetto domino e punto di origine di scenari secondari.

Componente	Tipo Probit	Coeff 1	Coeff 2	Coeff 3	Conv.*
1 Serbatoio Atmosferico	Sovrapressione	2.44	-18.96		100000
	Energia Frammenti				
	Energia				
	Irraggiamento	-1.163	10	1	1
	Evento sismico				

Conv.\* Coefficiente di conversione derivato di ricerca dell'effetto all'interno di sistema della Probit

Record: 1 | 1 | 5

Coefficiente 1 Probit tempo di cedimento: 16.814  
 Coefficiente 2 Probit tempo di cedimento: -1.847

Esci

**Figura 24 - Schermata di una maschera per l'inserimento dei dati**

Il software quindi considera, per ciascun scenario primario di cui è richiesta la valutazione, il valore degli effetti fisici su ciascuna sorgente apparecchiatura o sorgente "domino" passiva. Se i valori sono inferiori alle soglie di tabella 1, scarta automaticamente la sorgente. In alternativa, valuta la probabilità di effetto domino tramite lo specifico modello di

vulnerabilità. Attraverso le formule mostrate nella sezione 2, il software procede quindi al calcolo della frequenza attesa di ciascuno scenario e al calcolo della relativa mappa di vulnerabilità. Il calcolo prosegue quindi come nella versione normale del software con la procedura convenzionale di ricomposizione per il calcolo degli indici di rischio.

### **ATLANTIDE**

Il software ATLANTIDE è in grado di valutare le conseguenze di eventi accidentali che possono verificarsi nelle aree di stoccaggio. L'applicazione dello strumento è adatto per lo stoccaggio di GPL, ed impianti di trasformazione (sostanze dispersione / gas e altri fenomeni come BLEVE e palla di fuoco). Il software utilizza alberi di eventi per valutare tutti gli scenari possibili, dall'evento accidentale iniziale, tenendo conto del tempo, diverse uscite, modalità e altre caratteristiche tipiche della pianta<sup>25</sup>.

### **DOMINOXL**

Lo strumento DOMINO XL<sup>26</sup>, si propone di elencare tutti i possibili effetti domino che possono portare ad incidenti a cascata interni ed esterni. Per le zone apparecchiature più pericolosi un gruppo di impianti chimici, essi sono determinati sommando il numero di effetti domino primari al potenziale pericolo che portano ad un fattore di pericolo. Analogamente, le zone più vulnerabili attrezzature o tubi sono determinati anche sommando il numero di effetti domino per un'installazione, e considerando quindi un'installazione secondaria per un dato livello di protezione. Questo calcolo porta ad un fattore di vulnerabilità.

### **MiniFFFECT (MINImization of domino eFFECT)**

In l'obiettivo di sviluppare uno strumento metodologico per la gestione degli incidenti rilevanti con l'effetto domino, i GeOsiris<sup>27</sup> il software, che simula incidenti industriali che coinvolgono l'effetto domino. Il software Osiris identifica la sequenza di eventi accidentali e quantifica loro conseguenza in termini di effetto distanze, fornire assistenza per il processo decisionale, nonché per definire le modalità di attuazione e tempo di reazione di realizzare un intervento efficace.

---

<sup>25</sup> Cozzani, V.; Tugnoli, A. & Salzano, E., 2007, Prevention of Domino Effects: from active and passive strategies to inherently safer design, Journal of Hazardous Materials, 139(2), 209-219

<sup>26</sup> Delvosalle, C.; Fievez, C. & Brohez, S., 2002, A Methodology and a Software (DOMINOXL) for Studying Domino Effects Chisa 2002, 15th International Congress of Chemical and Process Engineering, Praha, Czech Republic, 25-29.

<sup>27</sup> Tixier, J.; Dusserre, G.; Rault-Doumax, S.; Ollivier, J. & Bourelly, C., 2002, OSIRIS: Software for the consequence evaluation of transportation of dangerous goods accidents, Environmental Modelling and Software, 17(7), 627-637

Un computer-programmato modulo MiniFFECT<sup>28</sup> (minimizzazione dei effetto domino) permette di determinare la posizione degli impianti chimici e il posizionamento ottimale per minimizzare gli effetti dell'evento cascata utilizzando approcci di programmazione non lineare. software MiniFFECT mostra la posizione di ogni struttura con coordinate cartesiane. Si tiene conto di tre fattori principali di effetti domino:

- i. il calore
- ii. carico,
- iii. sovrappressione,
- iv. frammenti effetto.

Per determinare gli effetti domino con ordine di priorità in un impianto industriale, su uno o su più livelli sulla sito, gli autori Reniers, e Dullaert hanno proposto uno strumento software chiamato DomPrevPlanning<sup>29</sup> per la pianificazione della prevenzione del domino effetti. Questo software utilizza tre documenti principali dello strumento Domino Effetti (IDE), il manuale per il fallimento Figure di frequenza, e linee guida per la valutazione quantitativa del rischio. Questo software può effettuare l'analisi di domino rischia, il confronto delle installazioni in sito industriale e la classificazione delle sostanze chimiche installazioni che rischia di causare gli effetti di escalation.

---

<sup>28</sup> Lee, J. Y.; Lee, J. W.; Ko, J. & En Sup Yoon, 2005, Optimization for Allocating the Explosive Facilities in Order to Minimize the Domino Effect Using Nonlinear Programming. Korean Journal of Chemical Engineering, 22(5), 649-656

<sup>29</sup> Reniers, G. L. L. & Dullaert, W., 2007, DomPrevPlanning: User-friendly software for planning domino effects prevention Safety Science, 45(10), 1060-1081

### 3.5 *Le Funzioni Probabilità di danno e di propagazione*

---

#### **Frequenza dell'evento primario**

La frequenza con cui si manifesta l'effetto domino si ottiene con un albero degli aventi definite dai seguenti passi:

- 1 passo: Si è ritenuto che una volta avvenuta la fuoriuscita di prodotto infiammabile per l'ambiente, un'accensione immediata potrebbe portare a un getto di fuoco o un pool di fuoco a seconda del prodotto. In questo caso l'effetto domino non è considerato possibile.
- 2 passo: Per gli scenari per cui non si verifica l'accensione immediata, è stato considerato un accensione ritardata, dove la nube infiammabile si andrebbe a disperdere fino a trovare una fonte di accensione all'interno dell'unità di processo origine, che porta ad una esplosione una volta che il tempo che intercorre tra la fuoriuscita e l'accensione è piccolo. Il riferimento per la probabilità di accensione ritardata è il Purple Book / 3 /. Infine, la nube di gas non acceso nel caso sopra citato, potrebbe andare lontano e trovare altre fonti di accensione esterni all'unità in cui si verificano fuoriuscita. In questo caso la nube di gas avrebbe una massa più infiammabile e genererebbe un'esplosione più violenta, in grado di raggiungere altre unità oltre l'origine uno.

La frequenza dell'effetto domino viene calcolato dalla formula seguente:

$$F_{DOMINO} = FIE * (1-P_{II}) * (1-P_{DI1}) * P_{DI2}$$

Dove:

F<sub>DOMINO</sub>: frequenza calcolata

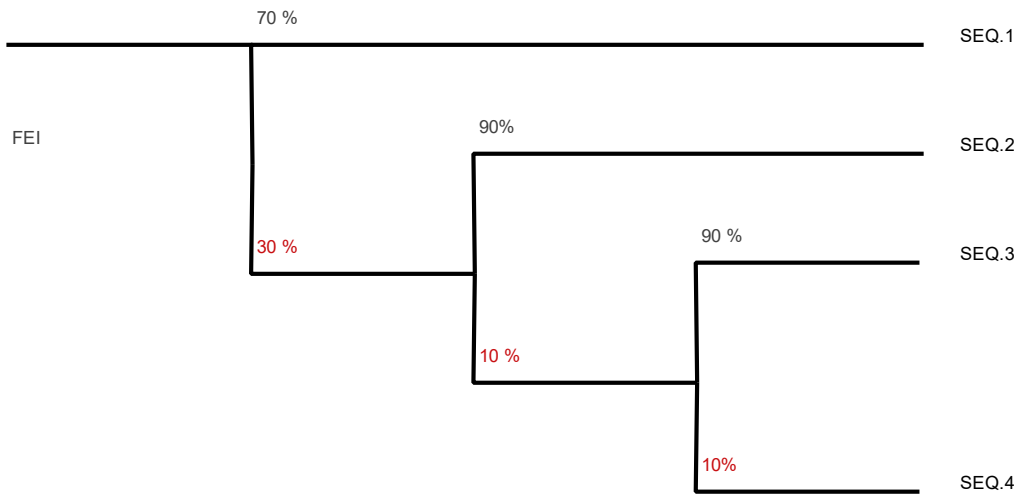
FIE: frequenza evento iniziale

P<sub>II</sub>: probabilità di immediata ignizione

P<sub>DI1</sub>: probabilità ritardata di ignizione all'interno

P<sub>DI2</sub>: probabilità ritardata di ignizione all'esterno

Evento iniziale di riferimento	Probabilità immediata ignizione PII	probabilità ritardata di ignizione all'interno PDI1	probabilità ritardata di ignizione all'esterno PDI2	Sequenza incidentale Domino Effect
--------------------------------	-------------------------------------	---	---	------------------------------------



**Figura 25 Albero degli eventi per il calcolo della frequenza dell'Effetto Domino**

### Propagazione

La propagazione degli incidenti può avvenire a causa di tre distinte cause:

- irraggiamento
- sovrappressione
- proiezione di frammenti

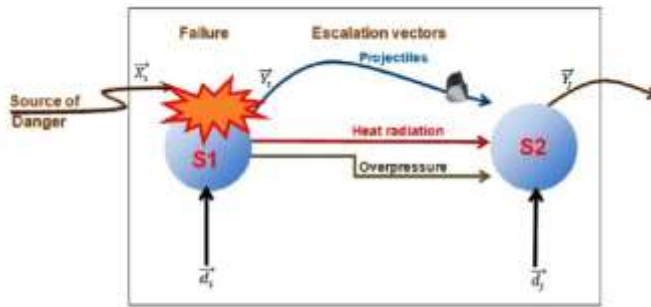
L'approccio alla verifica degli effetti domino può essere effettuato in modo deterministico, in base a "soglie di danno", o in modo probabilistico.

Nello studio riportiamo alcuni modelli probabilistici reperibili in letteratura e che sintetizzano i tre casi .

### Nel Caso di Sovrappressione

Come già accennato, si può definire un sistema o insieme S, in cui individuare due sottosistemi S1 e S2 che rappresentano rispettivamente il sottosistema sorgente e bersaglio (target).

Il sottoinsieme S1 rappresenta il sistema sorgente i cui danni sono causati dagli effetti fisici dovuti a qualsiasi causa scatenante. Questi effetti si propagano all'ambiente circostante (effetti termici, effetti di sovrappressione, rilascio di sostanze tossiche, proiezione di frammenti)



**Figura 26 Schema interazione tra due sorgenti**

Il sottosistema  $S_2$  rappresenta il target cui gli effetti fisici della sorgente provocano il danneggiamento e l'eventuale creazione di una nuova sorgente. Il sottosistema  $S_2$  può essere a sua volta influenzato da ulteriori parametri che si sommano a quelli fisici e ne incrementano gli effetti (azioni di sabotaggio, fattori umani e di gestione, ecc.).

Il sistema domino è caratterizzato dalle seguenti caratteristiche:

- interdipendenza e/o interazione tra sottosistemi e/o ambiente
- il sistema sorgente può generare possibili sequenze (catene) di incidenti che si propagano da un sistema ad un altro
- entrambi i sottosistemi dipendono da numerosi parametri/variabili fisiche oltre che dalla variabile tempo
- Gli interventi/sistemi di sicurezza e i fattori umani possono influenzare lo stato del sistema domino.

Nei casi di analisi di effetto domino, i danni e il sottosistema dipende da diverse caratteristiche dinamiche del vettore escalation (vettore input), da valori di soglia e da altri fattori che influenzano i precedenti. Il sistema effetto domino può essere descritto da una funzione vettoriale di seguito riportata

$$\vec{y} = N(\vec{x}, \vec{d}, t)$$

**Equazione 9**

Dove:

$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)^T$  è un vettore reale (input) a  $p$  dimensioni definito in uno spazio fisico al tempo  $t$ , gli  $x_i$  possono esser divisi in due tipi di parametri, parametri fisici casuali (effetti fisici) e fattori variabili (intervento di sistemi di sicurezza, fattore umano);

$\vec{d} = (d_1, d_2, \dots, d_g)^T$  è un vettore reale con  $g$  dimensioni,  $d_j$  rappresenta il parametro deterministico (parametri fisici del sistema e dell'ambiente)

$\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_k)^T$  è il vettore in uscita, definito da  $k$  dimensioni e  $y_i$  è una variabile random che dipende dai valori di input del sistema.



Introduciamo ora la **funzione insuccesso** che è data da :

$$G(\vec{x}) = \vec{y}_0 - \vec{y} \quad \text{Equazione 10}$$

dove  $\vec{y}_0$  è il criterio di soglia (definito da ciascun sistema) e  $\vec{y}$  è il valore di uscita appartenente al sistema target. Possiamo affermare che  $G(\vec{x},t) < 0$  rappresenta la funzione di insuccesso. In una normale funzione, il valore di uscita  $y_i$  corrisponde ai parametri di ingresso a cui è legato attraverso i valori limiti  $y_{oi}$ . Mentre un qualsiasi valore di uscita  $y_i$  di un sistema per un punto entrante è compreso nei corrispondenti valori limiti  $y_{oi}$ , lo possiamo definire il sistema di insuccesso.

Dopo aver calcolato la funzione insuccesso, si passa a calcolare la **probabilità di insuccesso** come segue:

$$P_{fi} = P(G_i(x,t) < 0) \quad \text{Equazione 11}$$

Si assume che, se abbiamo un singolo evento nel sottosistema sorgente, la probabilità totale degli insuccessi in un dato sottoinsieme target ( $S_j$ ) è così calcolata:

$$P_{fi} = P(\cup_{i=1}^k (G_i(\vec{X}) < 0)) \quad \text{Equazione 12}$$

Si riporta l'esempio di tre eventi che si manifestano nel sottosistema  $S_2$ ,

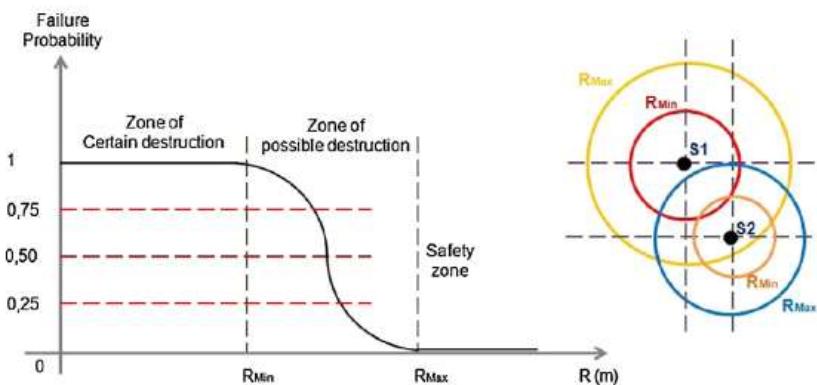


Figura 27 Zona di simulazione

La probabilità  $P_{F2}$  nel sottoinsieme  $S_2$  rispetto agli effetti ( $E_I, E_F, E_P$ ) è data dalla equazione:

$$P_{F2} = P(E_I \cup E_P \cup E_F) \quad \text{Equazione 13}$$

E quindi, utilizzando le regole di analisi:

$$P_{F2} = P(E_I) + P(E_P) + P(E_F) - P(E_I \cap E_P) - P(E_I \cap E_F) - P(E_P \cap E_F) + P(E_I \cap E_P \cap E_F)$$

**Equazione 14**

Si è individuato le zone in cui si manifestano gli effetti<sup>30</sup>

Mentre la probabilità di guasto  $P_{Fj}$ , è noto per ogni sottosistema, la probabilità di effetto domino e il raggio danni (zone interessate) possono essere valutati per tutto il sistema. Come accennato in precedenza, l'effetto domino consiste dell'interazione tra almeno due sottosistemi (aree) i cui raggi danni e le zone colpite sono presentati in Fig. 15.

Se si hanno eventi secondari  $N^{31}$ , la probabilità di uno scenario secondario (evento) in una generica combinazione  $m$  di eventi secondari  $k$  ( $k < N$ ) può essere stimato come segue:

$$P_e^{(k,m)} = \prod_{j=1}^N [1 - P_{e,j} + \delta(i, J_m^k)(2 \times P_{e,j} - 1)] \quad \text{Equazione 15}$$

dove  $P_e$  è la probabilità di escalation di eventi secondari,  $P_{e,j}$  è la probabilità di escalation per l'evento secondario  $j$ -esimo,  $J_m^k = [\gamma_1, \dots, \gamma_k]$  è un vettore i cui elementi sono gli indici della combinazione di eventi secondari  $k$ , e la funzione  $\delta(j, J_m^k)$  è definita come segue:

$$\delta(i, J_m^k) = \begin{cases} 1, & j \in J_m^k \\ 0, & j \notin J_m^k \end{cases} \quad \text{Equazione 16}$$

Inoltre, si può calcolare la probabilità congiunta che ciascuna unità della sequenza (non riusciti) nel modo seguente:

$$P_{DOi} = \prod_{j=1}^n P_{Fj} \quad \text{Equazione 17}$$

dove  $n$  è il numero dell'unità fallita (sottosistemi) coinvolti nella sequenza domino,  $P_{DOi}$  è la probabilità di sequenza di domino  $i$ .

### Nel caso di irraggiamento

Nel caso della radiazione di calore, questa può coinvolgere non solo le attrezzature industriali ma anche l'ambiente e le persone. Ponendo un numero totale degli abitanti ( $N$ ) può essere calcolato una densità di popolazione in funzione del tempo  $\rho(t)$  in una superficie  $S(r)$  con valore iniziale  $\rho_0$  al tempo  $t=0$ . Considerando una superficie  $S(r) = \pi r^2$  e assunto essere  $I(r, t)$  la dose termica ricevuta dalla persona ad una distanza  $r$  per un tempo di esposizione  $t$ . La determinazione della Dose termica avviene integrando ciascun contributo al passare del tempo durante il quale si presume costante la densità di flusso di calore ( $I_d$ ) (CCP, 1999; Gauguin et al, 2008):

<sup>30</sup> Method for quantitative assessment of the domino effect in industrial sites - Farid Kadria, Eric Châtelet, Guangpu Chenc - PSEP-324; No. of Pages 11

<sup>31</sup> Cozzani et al. (2005),

$$I(r, t) = \int_{t_0}^{t_0+t} I_d^{4/3}(r, t) dt$$

**Equazione 18**

La probabilità di letalità  $P_l(r, t)$  può essere valutata confrontando la dose termica  $I(r, t)$  ricevuto da una persona con valore di soglia  $I_{th}$  per mezzo della seguente equazione:

$$P_l(r, t) = P(I(r, t) > I_{th})$$

**Equazione 19**

I valori di soglia della dose termica sulle persone vengono presentati in Tabella 20.

**Tabella 20 Effetto dose termica**

Effetto sulle persone	(mbar)	([kW/m <sup>2</sup> ] <sup>4/3</sup> s)
Effetti irreversibili	50	600
Inizio effetti letali	140	1000
Altamente letale	200	1800

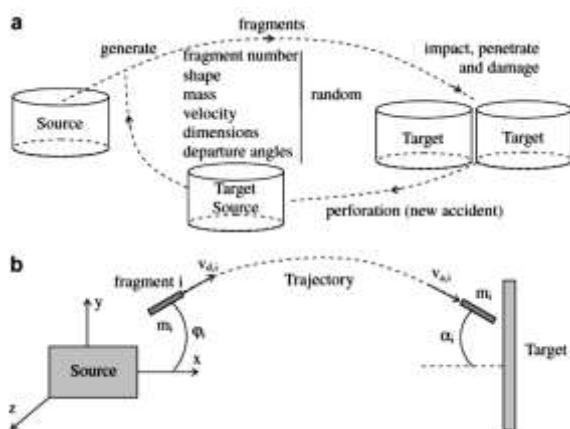
Il numero di persone (N) che risente della radiazione termica, può essere stimata mediante la seguente equazione:

$$N(t) = \int \rho(t) \cdot$$

**Equazione 20**

Inoltre, si può valutare la relazione dose-effetto per umana risposte a radiazione termica utilizzando il modello probit. Il valore probit,  $Y_r(R)$ , per la letalità radiazione termica è stata definita da Lees (1996), Gledhill e Lines (1998):

dove  $I$  è un carico termico (kW / m<sup>2</sup>) e  $t$  è il tempo di esposizione (s).



**Figura 28 Schematizzazione di un effetto domino**

### Nel caso di proiezione di frammenti<sup>32</sup>

Nel caso di una sequenza elementare nello scenario effetto domino, secondo il quadro generale mostrato in Fig. 25, questo rischio incidentale dipende da tre condizioni principali:

- Il rischio che possono generarsi proiettili ( $P_{gen}$ ) come conseguenza dell'incidente di apertura.

<sup>32</sup> Integrated probabilistic framework for domino effect and risk analysis – Q.B. Nguyen et al. Advances in Engineering Software 40 (2000) 892-901

- Il Rischio di impatto ( $P_{imp}$ ), cioè il rischio di impatto generato da proiettili su obiettivi circostante. Essa dipende dalla cinematica dei proiettili, nonché dalla forma e la posizione delle strutture circostanti.

Il Rischio di guasto ( $P_{rup}$ ) corrisponde a:

$$P_{rup} = P(E \leq 0) = \int_{E \leq 0} f_e(e) de = \int_{r,s} f_{r,s} dr ds \quad e \quad E=R-S \quad \text{Equazione 21}$$

Con  $R$  è la resistenza casuale del target di impatto (quali valori  $r$ ) che la distribuzione probabilistica marginale è denotato  $f_r(\cdot)$ ,  $S$  è una domanda casuale meccanica dovuta all'impatto del proiettile (quali valori  $s$ ) che marginale probabilistica distribuzione si indica  $f_s(\cdot)$ ,  $f_{r,s}(\cdot)$  è la funzione della densità di probabilità (è espresso come  $f_{r,s}(r, s) = f_r(r) f_s(s)$  se  $R$  e  $S$  sono statisticamente indipendenti),  $P_{rup}$  è la probabilità di guasto del bersaglio impattato,  $E$  è funzione stato limite ( $E < 0$ : definisce la dominio di errore,  $E > 0$ : definisce il dominio di sicurezza,  $E = 0$ : definisce la superficie stato limite). Questa probabilità dipende dall'interazione tra il proiettile e il bersaglio di impatto, cioè la forma della funzione stato limite  $E(\cdot)$  descritto nell'equazione (18). Si presume adottare un modello semplificato che è considerato per calcolare la profondità di penetrazione del proiettile dovuto ad un impatto duro su bersaglio metallico rigido.

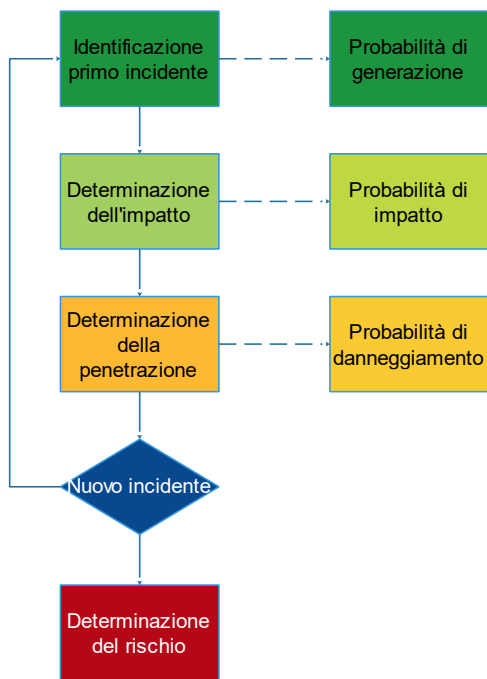
L'espressione generale del rischio effetto domino  $P_f$  potrebbe quindi essere espresso come:

$$P_f = P_{gen} \times P_{imp} \times P_{rup} \times P_{propa} \quad \text{Equazione 22}$$

Per descrivere lo sviluppo dell'effetto domino, partiamo da un esempio che consiste nell'ipotizzare la presenza in un'area di uno o più serbatoi (o impianti) in pressione. Le sequenze complessive effetto domino sono descritte in Fig. 15a.

Questo effetto domino può essere dettagliato descrivendo ciascuna delle elementari fasi o cicli. Ogni ciclo prevede tre componenti elementari (fasi): un termine di sorgente (esplosione e la generazione di  $i$  frammenti), il termine traiettoria proiettili (angoli, velocità e spostamenti dalla fonte), e il termine di destinazione (impatto e l'interazione tra il proiettile e la destinazione), vedere Fig. 15 b.

Così, ogni ramo elementare dell'effetto domino richiede tre passaggi dettagliati, come si può vedere in figura:



**Figura 29 Schema a blocchi**

- La generazione dell'incidente preliminare che dà luogo alla proiezione frammenti: lo stabilimento produttivo contiene uno o più serbatoi in pressione di gas, liquidi riscaldati o aggressione meccanica. Sotto l'effetto della sovrappressione dovuta al gas o liquido, o l'aggressione meccanica, il serbatoio può esplodere e generare frammenti. Questo termine probabilistica descrive la probabilità di generazione frammenti,  $P_{gen}$

- Nella loro traiettoria, i frammenti potrebbero colpire altre apparecchiature prospicienti. Questa possibilità di impatto è definita dalla probabilità di impatto,  $P_{imp}$

- Gli obiettivi, una volta colpiti, possono subire danni parziali o completi a seconda della penetrazione del proiettile. A seconda delle proprietà degli obiettivi e dei loro danni critici, un'esplosione può aumentare in questo elemento mirato. La probabilità di esplosione dopo l'impatto,  $P_{rup}$ , definisce il rischio di un'altra ricorrenza ramo della sequenza effetto domino.

A questo punto è possibile determinare i termini sorgente in termini di numero di frammenti, forma, massa dei frammenti, velocità iniziale, angolo iniziale. In base studi di tipo statistico, per ciascuno di questi elementi è possibile ricavare la corrispondente formula matematica.

Grazie a questi valori iniziali determinati impostando le caratteristiche della sorgente, è possibile determinare la traiettoria che i frammenti assumeranno, la gittata e la penetrazione che questi possono avere su un eventuale bersaglio.

### 3.5.1 Definizione dello scenario

---

Lo scenario incidentale può essere determinato da due condizioni fondamentali:

1. propagazione di eventi iniziatori di limitata gravità (EILG)
2. interazione di "top-events" distinti

Si può senz'altro dire che la prima condizione è una condizione debole. Si sceglie come esempio, per definire queste due diverse tipologie di eventi, che è quello di un incidente avvenuto in un impianto italiano per la produzione di etilene e propilene nel 1985.

Questo esempio è stato adottato in letteratura e evidenza come l'incidente è stato iniziato dalla rottura della saldatura di un tronchetto di piccolo diametro (2") su una tubazione di etilene alla base di una colonna di frazionamento. La rottura è stata causata dalle vibrazioni dovute alla ripetuta apertura e chiusura di due valvole di sicurezza. La fuoriuscita del gas ha formato un dardo di fuoco che è andato ad incidere direttamente su una tubazione di 600mm di diametro contenente idrocarburi C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> in pressione.

A seguito dell'irraggiamento, la tubazione da 600mm ha collassato dando immediatamente origine ad un dardo di fuoco lungo alcune decine di metri, che è andato a colpire il parco serbatoi dello stabilimento. Il secondo dardo di fuoco ha causato il BLEVE di un serbatoio verticale in pressione contenente etilene liquido. Un secondo ed un terzo serbatoio, avvolti dalle fiamme, sono esplosi poco dopo. L'impianto è stato distrutto quasi completamente nell'incendio che è seguito alle esplosioni.

Questo incidente ci mostra chiaramente la presenza di due diverse tipologie di effetto domino. Un evento di limitata gravità, e cioè un esempio di effetto domino del primo tipo, è dato dal secondo dardo di fuoco (dalla tubazione di 600mm). Ma i maggiori danni all'impianto sono stati causati dai BLEVE nel parco serbatoi. Questi sono chiaramente stati causati da un effetto domino "di secondo tipo", cioè dall'interazione di "top events" diversi: il BLEVE del primo serbatoio che ha causato un secondo ed un terzo BLEVE<sup>33</sup>.

Con ciò si può affermare che gli effetti domino del secondo tipo, essendo causati da eventi già in sé rilevanti, hanno maggiore raggio di danno potenziale. In particolare dovrebbe essere sufficiente in generale verificare la possibilità di effetti domino di questo secondo tipo, nella ricerca delle interazioni tra sorgenti di rischio in stabilimenti diversi.

---

<sup>33</sup> Metodologie quantitative per l'analisi dell'effetto domino in studi di rischio d'area V. Cozzani, L. Foschi, G. Francalanza, S. Zanelli

Nel caso della definizione di scenari legati al primo caso, e cioè con eventi iniziatori di limitata gravità, per poterne definire gli scenari incidentali, bisogna identificare tutti i possibili eventi iniziatori di limitata gravità (EILG). Nell'ipotesi che i dati operativi dell'impianto siano reperibili, è necessario innanzi tutto la revisione di tutti i top-events identificati nell'analisi e considerati di importanza trascurabile dal punto di vista delle conseguenze primarie..

L'analisi degli effetti della propagazione di un EILG (se presenti) può risultare in tre possibili categorie di eventi secondari:

- 1) Identificazione nuovi scenari incidentali per l'impianto: questi richiedono una completa analisi in termini di frequenze e conseguenze;
- 2) Identificazione dell'effetto domino come causa credibile di scenari incidentali di frequenza trascurabile dal punto di vista delle cause primarie;
- 3) Identificazione dell'effetto domino come causa ulteriore di scenari incidentali già analizzati come eventi primari.

Per l'identificazione di scenari incidentali causati da effetti domino del secondo tipo (interazione di più top events), richiede l'individuazione degli incidenti rilevanti "primari" che possono causare effetti domino. Come già più volte detto, la propagazione dell'incidente primario può avvenire principalmente a causa di tre fattori: l'irraggiamento, la sovrappressione e la proiezione di frammenti. La possibilità di generare un evento secondario può essere valutata sulla base di "soglie di danno".

### 3.5.2 La distanza di suscettibilità

Può essere eseguita una verifica di primo tentativo sulla suscettibilità di effetto domino può essere o di tipo deterministico o di tipo probabilistico.

**Soglie di danno**

Nel caso deterministico, occorre far riferimento alle “soglie di danno”: queste rappresentano l’intensità di un effetto fisico (irraggiamento, sovrappressione, proiezione di frammenti) cui un’apparecchiatura deve essere sottoposta affinché questa possa risultare danneggiata da un incidente provocato da un’apparecchiatura adiacente (effetto di prossimità).

**Distanze di suscettibilità**

Una volta noti per gli obiettivi di interesse i valori di soglia relativi a diversi livelli di danno, può essere adottato un criterio on-off il quale assume come danneggiato o non danneggiato il componente la cui posizione è ad una distanza rispettivamente minore o maggiore della “distanza di suscettibilità” associata ai livelli critici di radiazione termica o sovrappressione prodotte dall’evento incidentale primario<sup>34</sup>.

Applicando una metodologia fatta propria, peraltro, dalla Protezione Civile nell’elaborazione delle “Linee Guida per la pianificazione dell’emergenza esterna per impianti industriali a rischio di incidente rilevante” (1994), e relativamente al solo aspetto legato alla modellistica adottata, si può far riferimento alla seguente procedura:



**Figura 30 – Procedura metodo deterministico**

Possiamo riassumere il tutto affermando:

- Indicizzazione della sostanza pericolosa. Le sostanze pericolose vengono classificate e caratterizzate da una serie di indici di riferimento.
- Indicizzazione della tipologia di attività e/o delle modalità di detenzione della specifica sostanza. Le tipologie di attività e/o le modalità di detenzione delle

<sup>34</sup> IAEA, *Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*, 1993



specifiche sostanze vengono classificate e caratterizzate da una serie di indici di riferimento.

- Individuazione della categoria di effetti. In base alle quantità di sostanze presenti (quantità massime realisticamente ipotizzabile come coinvolgibile in un singolo incidente), e in base agli indici di riferimento determinati nei passi precedenti, si individua la categoria di effetti corrispondente alla situazione in esame.
- Individuazione delle “distanze di suscettibilità”. Con gli elementi determinati nei passi precedenti si ricava, da appositi dati tabellati, la distanza entro la quale le unità di impianto in oggetto sono suscettibili di innescare effetto domino.

Per semplificare, si può affermare che gli incendi per la valutazione dell'effetto domino sono:

- Incendi di getti di vapore o gas infiammabili prodotti da perdite in serbatoi pressurizzati (jet fire)
- Incendi di pozze e recipienti di liquidi infiammabili (pool fire)
- Sfere di fuoco (fireball).

Non è stato considerato tra le possibili cause di effetto domino il flash fire; questo perché esso è un fenomeno di rapida durata che, generalmente, causa danni solo alle parti più facilmente aggredibili dal fuoco, come ad esempio i cavi elettrici, ma non distrugge le apparecchiature<sup>35</sup>.

Nell'assunto che in caso di incendi di grandi dimensioni il calore sviluppato viene trasferito all'ambiente essenzialmente per irraggiamento, è possibile stimare le distanze di suscettività utilizzando il modello per irraggiamento da sorgente puntiforme, in cui si assume che una data frazione del calore di combustione ( $f$ ) sia emessa come radiazione in tutte le direzioni, e che la superficie del bersaglio sia rivolta verso la sorgente di radiazione in modo da ricevere il massimo flusso incidente. La radiazione ricevuta per unità di area dal bersaglio ( $q$ ) posto ad una distanza ( $x$ ) dalla sorgente puntiforme è:

$$q = \frac{fmH_c\tau}{4\pi x^2}$$

**Equazione 23**

dove

- $m$  = tasso di combustione (kg/s)
- $\tau$  = trasmissività atmosferica
- $H_c$  = calore di combustione (J/kg).

Attraverso questa equazione, esplicitando rispetto a  $x$  il tutto avremo:

---

<sup>35</sup> J.M. Levert et al. Methodologie d'analyse des effets domino en milieu industrial, Rapport Final, Ministère de l'Emploi et du Travail, Belgio 1996  
Center for Process Safety of the American Institute of chemical Engineers, Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash fires, and BLEVEs, New York: AIChE, 1994

$$x = \sqrt{\frac{fmH\tau}{4\pi q}}$$

**Equazione 24**

A seconda del tipo di incendio è possibile determinare, con formule semi-empiriche il valore di m e quindi si ottiene il valore della distanza di suscettività in funzione delle caratteristiche delle sostanze e delle temperature.

### 3.6 Diagramma di Pareto

---

In generale, per poter definire un modello utile è necessario raccogliere quanti più dati possibili in merito al caso di esame.

È noto come l'analisi di Pareto si basa sulla constatazione, empirica, che le tipologie di problemi più importanti sono dell'ordine del 20% del totale e risolvendo questi si può risolvere l'80% dei problemi stessi.

L'analisi di Pareto è una metodologia statistica utilizzata per individuare, nel contesto in esame, i problemi più rilevanti e quindi le priorità d'intervento, quindi sfruttando queste considerazioni, è possibile analizzare un insieme di dati in modo da determinare le poche variabili (fra le tante in esame) che influenzano in modo significativo i risultati finali di un determinato fenomeno.<sup>36</sup>

In questo caso la difettosità sta nel manifestarsi di un dato evento incidentale : il caso di un evento incidentale in una area densamente popolata. Si utilizza un metodo semplificato e parametrizzato per dare un primo giudizio sui rischi connessi ad una installazione industriale.

La costruzione del diagramma di Pareto si declina nelle seguenti fasi:

1. Decidere quali sono i problemi da investigare e come raccogliere i dati;
2. Disegnare una tabella di raccolta dati riportando tutte le voci con lo spazio per registrare i relativi totali;
3. Riempire la tabella e calcolare i totali;
4. Costruire la tabella per il diagramma di Pareto riportando le voci, i loro totali parziali, i totali cumulati, le percentuali delle singole voci e le percentuali cumulate;
5. Mettere le voci in ordine crescente/decescente di quantità e riempire la tabella;
6. Disegnare i due assi verticali uniti alla base da uno orizzontale;
7. Costruire un diagramma a barre;
8. Disegnare la curva cumulativa (curva di Pareto). Riportare i valori cumulativi (totali cumulati o percentuali cumulate) per ogni intervallo in alto a destra e collegare i punti con una linea continua,
9. Completare il diagramma con le informazioni necessarie.

---

<sup>36</sup> A. Pacotti – Produttività e WCM – [www.pacottialdo.it](http://www.pacottialdo.it); Distribuito da [www.WinCoge.it](http://www.WinCoge.it)

In letteratura esistono due tipi di diagrammi di Pareto in grado di identificare le cause primarie della sinistrosità e difettosità:

1. diagramma di Pareto per fenomeni;
2. diagramma di Pareto per cause;

Il primo tipo di diagramma è finalizzato all'individuazione della difettosità del processo in termini di qualità, costi e sicurezza; mentre il secondo tipo di diagramma è finalizzato all'individuazione delle principali cause di difettosità e di rischio: operatore, macchinari, metodologie ecc.<sup>37</sup>

Foglio raccolta dati		
Tipo di errore	Frequenza	Totale
		10
		42
		6
		104
		4
		20
		14
<b>Totale</b>		<b>200</b>

Foglio di raccolta dati per il diagramma di Pareto				
Tipo di errore	N. DIFETTI	Tot. cumulato	% sul totale	% cumulata
	104	104	52	52
	42	146	21	73
	20	166	10	83
	10	176	5	88
	6	182	3	91
	4	186	2	93
	14	200	7	100
<b>Totale</b>	<b>200</b>		<b>100</b>	

**Figura 31 - Fogli di raccolta dati**

<sup>37</sup> Tesi Dottorato Giuseppe Converso La gestione dei Rischi nella Produzione di Beni e Servizi. Modelli matematici di analisi mediante simulazione. Pagg. 90-91

### 3.7 II RISK MANAGEMENT

---

Il Risk Management ovvero la gestione del rischio, rappresenta una serie di misure di controllo dei fattori di rischio al fine di comprendere la natura dei rischi, farne una valutazione, assumere delle decisioni rivolte alla loro mitigazione ed effettuare le misure di trattamento del rischio.



Figura 32 Diagramma del Risk Management

L'Analisi dei rischi si attua verificando in concreto i pericoli presenti. Attraverso la verifica dei dati storici e degli alberi di eventi, è possibile definire lo scenario. Una volta identificati i pericoli, si può fare una stima dei rischi considerando la frequenza di accadimento e gli effetti che concorrono al calcolo della cifra di rischio.

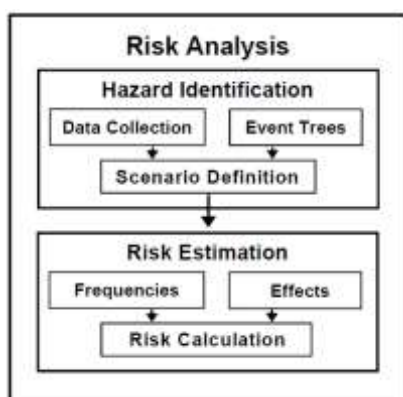


Figura 33 Diagramma del Risk Analysis

Una particolare applicazione della metodologia è nei sistemi integrati di gestione dei rischi tanto economici che di natura infortunistica; in particolare il Risk Management è utilizzato anche per l'analisi e la gestione dei rischi connessi alla disciplina sulla responsabilità amministrativa degli enti e delle organizzazioni ex. Decreto Legislativo 231/01.

### ***3.8. Il Comportamento umano rispetto ai Rischi***

---

In genere il comportamento collettivo ha come fondamento o motivazione la soluzione di un problema, di una difficoltà.

Si possono evidenziare, in emergenza:

- Comportamenti collettivi adatti - Sono quelli caratterizzati dal persistere e/o dal riorganizzarsi delle strutture di quel gruppo sociale, quali ad esempio gli uffici comunali, le scuole, gli ospedali;
- Comportamenti collettivi inadatti - Sono quelli caratterizzati da una risposta non logica e non razionale; producono conseguenze pericolose per la sicurezza delle vittime e degli stessi soccorritori. Le reazioni più frequenti sono quelle di “commozione – inibizione -stupore” e quella di “panico”.

I comportamenti collettivi, in generale, possono essere riferiti alle zone dell’evento e alle fasi dell’evento, a seconda che si consideri l’asse dello spazio o l’asse del tempo:

- Comportamenti in riferimento alle zone:
  - zona d’impatto (i superstiti sono pochi e hanno comportamenti cosiddetti di “commozione-inibizione- stupore”);
  - zona di distruzione (le persone colpite possono manifestare comportamenti inadatti quali indecisione, azioni inutili e non coordinate, fuga centrifuga, panico);
  - zona marginale (le persone in questa zona possono avere comportamenti di inquietudine, incertezza, angoscia; questa è una zona di importanza fondamentale nella quale l’elevato numero di persone, aventi scopi diversi, potrebbe dare origine al panico);
  - zona esterna (possono esservi comportamenti che aumentano il disordine, causati dalla gente che cerca di andare verso il centro; necessità di misure d’ordine chiare e precise).
- Comportamenti in riferimento alle fasi:
  - fase di preallarme (serve a valutare il grado di preparazione della gente in vista di un evento calamitoso);
  - fase di allarme (caratterizzata da uno stato di angoscia utile, che può degenerare in agitazione - fino al panico - se la fase precedente non è stata affrontata in modo efficace);
  - fase di shock (provoca uno stress più o meno intenso che può provocare disorientamento spazio-temporale);

- fase di reazione (deriva dalla precedente e provoca perdita delle capacità individuali di decisione razionale e spesso ricerca di protezione o di un modello esterno);
- fase di risoluzione (caratterizzata dal ritorno alla coscienza);
- fase post-catastrofe (in questa fase possono esservi comportamenti collettivi di violenza e vandalismo; ricerca di un “capro espiatorio”; comportamenti di dolore collettivo e/o “sindrome del sopravvissuto”).

Tale modello è estremamente importante nei casi in cui la presenza di un notevole numero di presenze in una attività, non può essere derubricata e mero dato numerico. Il comportamento umano tende a una configurazione caotica e quindi poco incline alla gestione. Per tale ragione questo elemento non può essere disatteso e va gestito come un ulteriore elemento soggetto alla propagazione a cascata.

### *4.1 Un particolare caso applicativo dell'Effetto Domino<sup>38</sup>*

Un caso applicativo alquanto interessante che riguarda l'utilizzo del modello matematico dell'Effetto domino per contrastare alcuni rischi, è quello che ci viene da uno studio condotto in Korea per la realizzazione di barriere di contenimento a tutela del turismo.

Nello studio si evidenzia come i termini teorici del Domino, vengono studiati in molti campi diversi e in diverse aree di ricerca. Esempi di implicazioni domino vanno dalla salute e la sicurezza, la prevenzione degli incidenti industriali. Il regionalismo tra i paesi dell'UE legato al commercio e il progresso dell'ingegneria chimica, ha spinto ad impostare modelli di domino legato ad attività RIR partendo da dati di laboratorio per dimostrare, dopo l'elaborazione, i danni che possono derivarne. Questi studi principalmente utilizzano il modello Domino come uno strumento affidabile e ideale per intraprendere un'azione preventiva. Si può prevedere quando vi è necessità di una barriera nella prima fase dell'evento ed è facile, per valutare la fase successiva, nel risolvere il manifestarsi dell'evento con una barriera o aggiustando un difetto.

H. W. Heinrich ha descritto l'effetto domino nella gestione industriale.

Nel 1931 Heinrich ha esposto le sue convinzioni su come si verificano incidenti e che cosa deve essere fatto per frenarli. La sua analisi delle fasi che portano ad un evento che comporti la perdita di produzione, può ulteriormente illuminare come l'effetto domino potrebbe svolgere in pianificazione economica del turismo e a maggior ragione nell'analisi e gestioni dei rischi.

Vale la pena ricordare che gli algoritmi proposti per il calcolo dell'effetto domino sono gli stessi, salvo dovute eccezioni, usati in economia per lo studio degli effetti a cascata.

---

<sup>38</sup> A Comparative Study of the Domino Model and Tourism Planning Barrier Factors- Koo, Kyungyeo



## 4.2 Base del modello

---

La premessa logica da cui è partita la ricerca, è che:

*“ il fenomeno indicato come effetto domino, in realtà può essere innescato da eventi anche non riconducibili ad incidenti rilevanti e che l’effetto prodotto da una amplificazione e/o propagazione dello stesso può significativamente applicarsi per descrivere il comportamento umano in caso di incidenti catastrofici”.*

Quindi, allo scopo di verificare la bontà del ragionamento, si sono poste ipotesi di lavoro semplificate. E’ stato pertanto necessario definire un metodo che potesse essere applicato su larga scala ma che al tempo stesso fosse sufficientemente agile ed implementabile in tempi ragionevoli.

Per l’approccio metodologico, seppure con le dovute eccezioni e integrazioni, ci si può riferire a quanto proposto nel PIA Nord Milano (2006).

In particolare si ha che per definire la frequenza di infortunio (che concorre alla determinazione del rischio interno) è possibile acquisire i valori riportati nella banca dati INAIL al fine di garantire una migliore affidabilità statistica.

I dati raccolti sono stati riportati su due scenari:

- Dati su scala nazionale
- Dati su scala provinciale

Nota la probabilità di infortunio, essendo l’intervallo temporale di riferimento pari a un anno, per ogni categoria ATECO è possibile calcolare la relativa frequenza individuale ( $\lambda$ ).

Si può assumere il numero di dipendenti presenti in ogni azienda AIAP e tramite una semplice operazione matematica è possibile giungere alla definizione di una frequenza attesa espressa in infortuni/anno per ogni azienda AIAP (Archivio Integrato delle Attività Produttive che comprende tutte le aziende non ricadenti nel campo di applicazione della normativa Seveso, anche se, di fatto, il database AIAP comprende anche alcune aziende ricadenti)

**Aziende incluse  
nel data-base  
AIAP**

Il metodo consente di definire gli infortuni attesi per ogni azienda in relazione sia alla tipologia di attività che all’effettiva dimensione della stessa.

Un altro importante elemento introdotto nello studio degli effetti Domino per aziende AIAP, quello della frequenza di intervento dei Vigili del Fuoco (che concorre alla determinazione del rischio esterno)

Per definire tale frequenza si è provveduto ad acquisire le informazioni riportanti il numero di interventi di emergenza effettuati su tutto il territorio nazionale dalla banca dati nazionale dei Vigili del Fuoco suddivisi per tipologia di aziende.

Nello studio svolto si sono analizzati gli interventi che hanno coinvolto combustibili solidi, liquidi e gassosi, altri infiammabili, sostanze chimiche e sostanze radioattive.

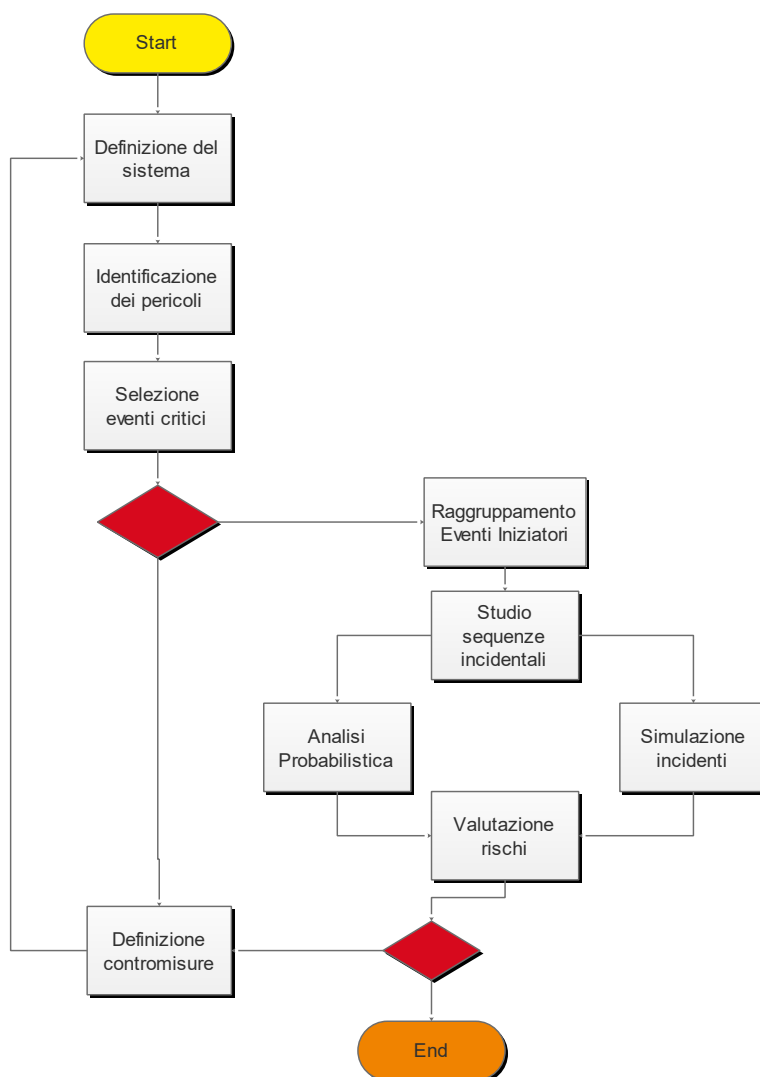
Per costruire un campione statistico significativo si sono mediate i dati relativi al periodo 2000-2006.

La classificazione delle attività produttive impiegata dai VVF è diversa dalla codifica ATECO; per le classi per cui è stato possibile si è individuata una corrispondenza con le attività ATECO, mentre le restanti sono state raggruppate in un'unica macro-categoria. Poiché i dati forniti dal database riportano solo il numero di interventi eseguiti, per poter ottenere un dato in termini di frequenza attesa per singola attività, avente come unità di misura interventi/anno è necessario conoscere il numero di aziende di ogni tipologia presenti sul territorio italiano. Tale dato è stato acquisito da Annuario statistico Italiano edizione 2007 (che riporta i dati del censimento del 2001).

Questi passaggi hanno permesso di definire la frequenza ricercata nel modo seguente : numero di interventi VVF/(anno x azienda di classe ATECO definita).

Il passo successivo è stato, quindi, quello di identificare una attività AIAP e in base al suo ATECO definirne le frequenze.

Per quanto riguarda la valutazione dei rischi, questa può essere condotta secondo lo schema di seguito riportato che ci riporta alla necessità di conoscere il sistema su cui stiamo eseguendo le nostre considerazioni. Il sistema, essendo la valutazione dei rischi fondato sul principio del miglioramento continuo, risulta dinamico: in particolare il sistema è condizionato dalle scelte che sono eseguite per le contromisure adottate per la riduzione dei rischi.



**Figura 34 – Diagramma della Valutazione dei Rischi**

Prima di passare alla applicazione del Sistema di Gestione, bisogna definire in maniera più puntuale lo scenario a cui stiamo facendo riferimento.

Nello specifico possiamo definire due situazioni equiprobabili in cui possiamo trovarci:

- azienda in cui ha origine l'evento primario;
- azienda in cui ha origine l'effetto secondario

In entrambi i casi l'incendio può essere considerato un evento scatenante.

Esiste un altro scenario comunque da non sottovalutare ed è quello che comporta il fatto che l'effetto domino si inneschi per eventi esterni al sito in esame e che non sia attribuibile ad altra attività ma a effetti di tipo naturale come alluvioni, terremoti, incendi boschivi, precipitazione ceraunico ecc. Si rimanda la capitolo corrispondente per il loro calcolo.

Quello che si vuole sottolineare è che la normativa antincendio prescinde dal tipo di attività che possono esercitarsi in un intorno più o meno ampio all'azienda. Di fatto la presenza di fiumi, boschi o altro, non è elemento che ricade in una valutazione in fase di progetto.

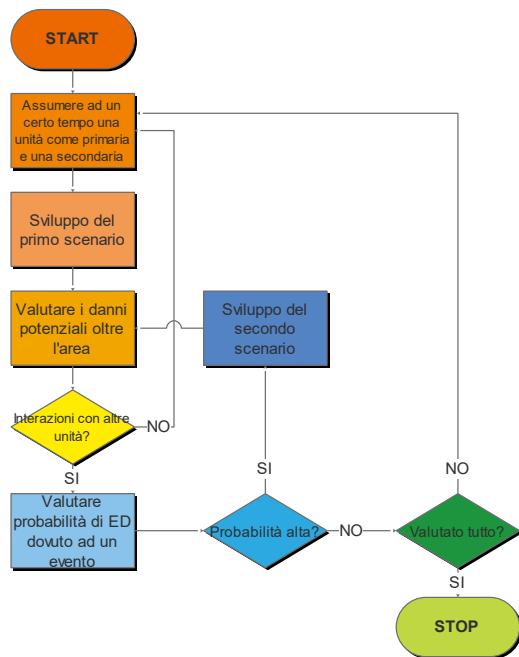
Esiste tutto un gruppo di Rischi che è del tutto disatteso rispetto alla progettazione antincendio e che potrebbe essere causa di effetto domino.

Per tale ragione, sempre sfruttando gli algoritmi presenti in letteratura, si può stendere una griglia sul territorio intorno alla azienda oggetto di valutazione. Attraverso questa griglia si possono intercettare i settori in cui sono presenti altre aziende, in particolare quelle RIR. Una volta mappata la presenza delle altre attività (sperando che queste siano tutte censite), si passa con lo stesso criterio a verificare la presenza di zone con dissesti idrogeologici, zone boschive, zone sismiche ecc.

Quindi si può avere:

- azienda A che coinvolge azienda B (o viceversa)
- elementi naturali o antropiche che possono coinvolgere la azienda A
- elementi naturali o antropiche che possono coinvolgere la azienda A e questa la B (o viceversa)
- Azienda A che può coinvolgere elementi naturali e da questi all'ambiente o alla popolazione

Come si può notare la catena di eventi può offrire diverse alternative. Volendo definire il numero di potenziali sorgenti di innesco, possiamo applicare lo schema di seguito riportato che indica, al tempo di riferimento  $t$ , la valutazione puntuale delle unità operative.

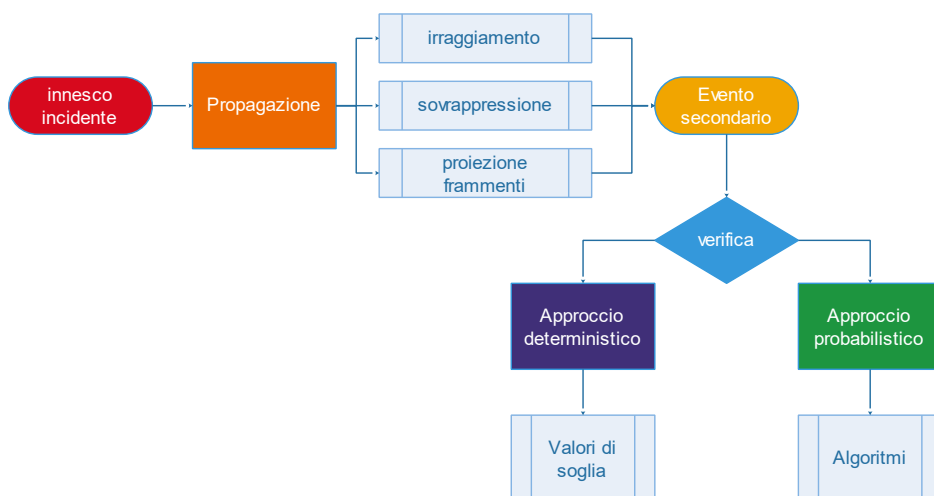


**Figura 35 – Schema per l’individuazione degli ED**

Con gli algoritmi in nostro possesso possiamo valutare gli effetti generati da:

- Sovrappressione
- Irraggiamento
- Proiezione di frammenti
- Rilascio di sostanze tossiche (queste hanno effetti solo sulla popolazione e sull’ambiente ma non concorre alla propagazione dell’incidente)

Nel caso di una azienda coinvolta da un incendio che si sviluppa esternamente a questa, i rischi sono: il trasferimento di energia radiante, esplosioni con proiezione di parti.



**Figura 36 Schema a blocchi per la determinazione dell’approccio alla verifica**

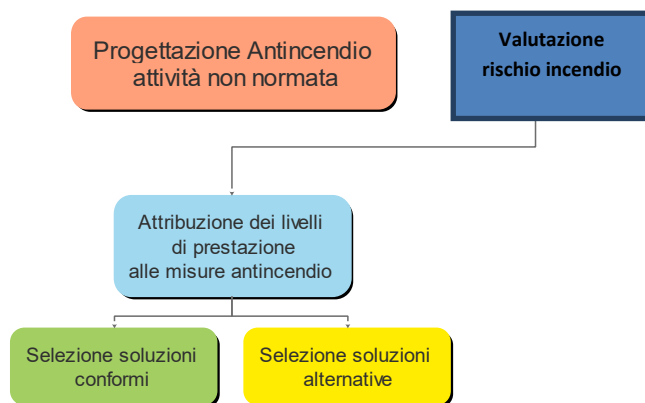
Fin qui tutto è concentrato sulla definizione dei limiti di intervento dell'effetto domino legato a eventi incidentali.

Dalla letteratura abbiamo appreso che gli eventi che possono innescare un effetto domino, si distinguono in due gruppi:

- i) propagazione di eventi iniziatori di limitata gravità (EILG)
- ii) interazione di "top-events" distinti

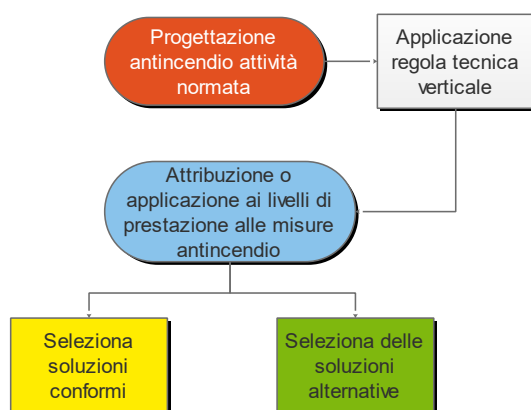
Si può quindi pensare che in una prima analisi possiamo identificare tutti gli eventi, rilevanti o meno, che potenzialmente possono innescare un ED.

Facendo riferimento al DM 3.8.2015, si definisce lo schema a blocchi che descrive le azioni da intraprendere in caso di una progettazione antincendio a valere su attività non normate.



**Figura 37 Progettazione attività non normate**

Viceversa, una attività normata segue le indicazioni del decreto corrispondente: nel caso di studio, l'ipotesi è di adottare una norma verticale che riguarda una attività che ricade nell'allegato 1 del DPR 151/2011 .



**Figura 38 Progettazione attività normate**

Indipendentemente dal tipo di attività, lo schema generale della progettazione antincendio è sempre legata alla sicurezza e la salvaguardia della vita umana.

	Livelli di prestazione	Soluzioni conformi	Soluzioni alternative
Resistenza al fuoco	Orange	Orange	Orange
Reazione al fuoco	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Compartimentazione	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Esodo	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Controllo dell'incendio	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Controllo dei fumi e del calore	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Rivelazione e allarme	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Gestione della sicurezza	Yellow	Light Blue	Light Blue
Operatività antincendio	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Sicurezza degli impianti	Light Blue	Light Blue	Light Blue

**Figura 39** Tabella riepilogativa della progettazione

Il decreto, ai fini dell'ottenimento del CPI (certificato di prevenzione incendi), impone il rispetto di alcune caratteristiche ben specifiche che deve possedere la struttura "fisica" che ospita l'attività e le caratteristiche tecniche e tecnologiche che debbono essere installate per mitigare il pericolo.

Nella realizzazione di un progetto di prevenzione incendi e per eseguire dei piani di evacuazione, la prima cosa che bisogna fare è individuare l'attività per la quale si sta facendo la nostra progettazione.

Si individua la norma Verticale/orizzontale che disciplina l'attività.

In questo caso, come già visto, la norma verticale restituisce una serie di prescrizioni a cui si è obbligati per poter essere sicuri di ricevere la certificazione da parte dei VVF.

Una volta definito il tipo di attività ed individuata la tipologia, dobbiamo vedere quali sono gli altri elementi che la collocano in categoria C (attività che necessitano del rilascio da parte dei VVF del CPI):

- Dimensioni dell'attività,
- Numero di persone presenti ,
- quantità materiale
- ...



Si può vedere che un elemento che ricorre sempre nelle attività analizzate, è appunto l'affollamento. L'affollamento rappresenta un parametro importante perché indica il valore delle persone ( $P_{eff}$ ) effettivamente presenti nella struttura fisica che ospita l'attività moltiplicato per un fattore che varia a seconda del grado di permanenza degli stessi.

Nel nostro caso l'affollamento è estremamente importante perché, quello che vogliamo controllare e gestire, è proprio l'effetto che l'incidente può avere su di essi.

Nelle ipotesi che hanno guidato la ricerca fino a questo punto, ci sono diversi fattori che concorrono e che devono essere gestiti.

Innanzitutto si ha un *top event* primario che, vista la generalità dello studio, in questo momento consideriamo ininfluenza; in realtà non lo è: chiaramente lo studio si basa essenzialmente sull'idea che esista comunque un evento catastrofico che generi effetti domino. Una caduta dal marciapiede può innescare una escalation di eventi ma, a meno che chi cade non sia imbottito di tritolo, non ha effetti rilevanti,

Si può dire che abbiamo: un evento primario che genera un evento in una attività X. L'evento genera ulteriori eventi tutti collegati al primo che compromettono il piano di emergenza. A questo punto dobbiamo usare un modello che preveda questa escalation e ne determini possibili soluzioni per ridurre gli effetti e impedire l'ulteriore propagazione ad altre attività o elementi.

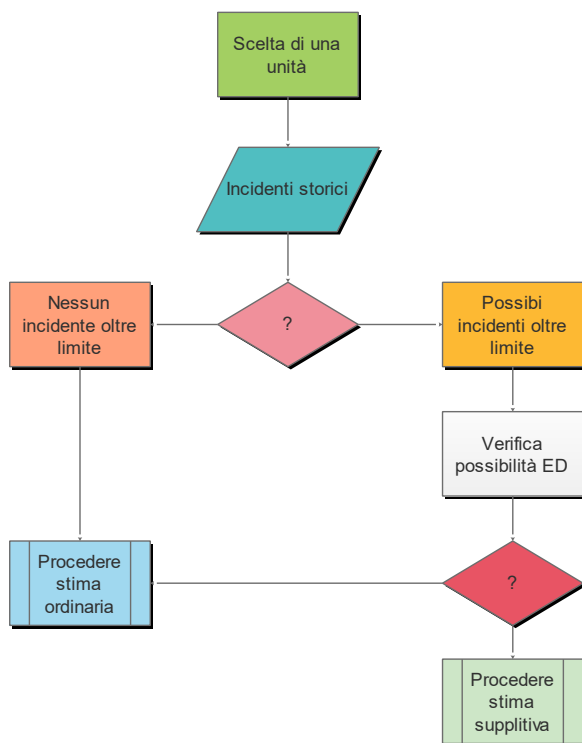


Figura 40 schema a blocchi per verifica effetti secondari

Nel caso che la probabilità che si verifichino effetti secondari risulta molto scarsa, il piano di emergenza realizzato secondo le indicazioni della norma tecnica, è coerente con gli eventuali scenari di rischio.

Nel caso in cui la probabilità che si manifesti un qualsiasi effetto secondario riconducibile al primo ma non previsto dalla normativa, allora dobbiamo intervenire con un modello che tenga conto degli effetti a cascata.

L'evento secondario può riguardare:

- Strutture
- Macchine e/o attrezzature
- Ambiente naturale
- Persone

Sulle persone gli effetti possono essere diretti o indiretti. Nel caso di effetti indiretti possiamo ipotizzare che il panico, dovuto alla moltitudine di presenze, rappresenti l'evento secondario.

Avendo fatto l'ipotesi che il nostro evento incidentale primario è collegato ad un incendio, possiamo affermare che la propagazione di questo incidente può avvenire secondo lo schema a blocchi in fig.24. Nella stessa figura si evidenzia l'aspetto non meno trascurabile dell'approccio alla verifica che possiamo adottare. In letteratura è possibile adottare due metodi fondamentali: l'approccio deterministico e quello probabilistico.

Nei casi in cui si vogliono valutare gli effetti di soglia dell'incidente, ovvero si vuole sapere quale è il limite oltre il quale l'incidente principale è in grado di danneggiare i bersagli a lui intorno.

Continuando su questo ragionamento, possiamo affermare che, così come avviene per il rischio incendio in cui il metodo tabellare risulta da un punto di vista delle applicazioni pratiche più semplice, anche per l'effetto domino l'approccio deterministico è più facile da applicare (QRA).

L'approccio probabilistico è legato sia ai fattori fisici che alle condizioni al contorno e per tale ragione la sua applicazione non sempre risulta immediata.

La cosa auspicabile sarebbe quella di utilizzare un approccio misto che si basi sull'utilizzo di valori di soglia per determinare le possibilità di interazione e, all'interno del cerchio di danno, dell'utilizzo di probabilità per stimare la possibilità di propagazione da un punto di vista quantitativo.

#### 4.2.1 Caso di Effetto domino da incendio esterno

---

Nel caso in cui l'incendio avvenga all'esterno, o comunque non in una zona controllata, i componenti di impianto o le strutture adiacenti possono surriscaldarsi a causa:

- della radiazione termica emessa dalla fiamma ;
- del contatto diretto con la fiamma stessa (urto con dardo di fuoco -"jet fire impingement"-, immersione nelle fiamme di una pozza incendiata -"pool fire engulfment")
- del contatto con prodotti di combustione

Con l'aumentare della temperatura, nel caso in cui coinvolga un impianto, i componenti di questo tendono a peggiorare le proprie caratteristiche di resistenza meccanica, fino al collasso.

Vari studi sulla resistenza dei componenti strutturali di impianto alle radiazioni termiche (Schwartz 1964, Lees 1980, Hofman 1982, etc.) hanno prodotto i seguenti risultati

**Tabella 21 Comportamento componenti strutturali**

Materiale	Temperatura collasso	Durata integrità
Cemento non armato	inferiore a 575 °C	
Cemento armato	Surriscaldamenti superficiali fino a 900 °C	30-60 minuti massimo
Cemento armato precompresso	temperature superficiali di circa 900 °C	60 minuti massimo
Muratura di mattoni	temperature di 1100 °C	4 ore (cemento legante a 500° viene distrutto)
Manufatti in Ghisa	temperature di 1000 °C	60 minuti
Manufatti in Legno	La combustione inizia con una temperatura superficiale di circa 300 °C	30 minuti grazie alla carbonizzazione
Manufatti in Acciaio	250-300 °C	
Manufatti in Vetro	temperature superiori a 1000 °C	

Sulla base di questi dati, l'istituto Battelle di Francoforte ha stimato, attraverso un modello matematico di irraggiamento-conduzione-dispersione, quali sono i valori limite di flusso radiante incidente che possono essere sopportati da un determinato manufatto.<sup>39</sup>

Le conclusioni raggiunte sono riassunte nella tabella seguente:

**Tabella 22 Valori limite di flusso radiante**

	Max. temp. superficiale (°C)	Max. temp del corpo (°C)	Max radiazione tollerabile (kW/m <sup>2</sup> )
Cemento	575	575	60
Cemento armato	900	575	200
C.A. precompresso	900	250	40
Acciaio	500	250	40
Legno	300	-	10
Mattoni	1000	700	400
Vetro	1000	1000	30-300

Inoltre non va dimenticato che il danno conseguente all'incendio non dipende dalla sola potenza della radiazione termica incidente, ma piuttosto dall'integrale nel tempo della potenza stessa (energia ricevuta).

In condizioni stazionarie, l'energia ricevuta può essere espressa come prodotto del valor medio della potenza per la durata del fenomeno.

$$D = P_{\text{termica}} \times t$$

**Equazione 25**

Ne consegue che al diminuire del tempo "t" diminuisce anche l'energia ricevuta e, quindi, i relativi danni all'oggetto ricevente e ciò si traduce, là dove non è possibile ridurre le potenze termiche, nel dover operare un tempestivo intervento per ridurre tali effetti.

Nella ipotesi che l'incidente sia dovuto alla propagazione per irraggiamento di un incendio proveniente dall'esterno, rifacendoci all' L'Eurocodice 1, la UNI EN 1363-2, il CNR e le *Norme tecniche per le costruzioni*, possiamo verificare che a causa della natura d'un incendio "esterno" con le sue possibilità aggiuntive di dispersione del calore, bisogna assegnare un livello inferiore d'esposizione al calore. Questa curva d'incendio esterno è così definita:

<sup>39</sup> PIA Nord Milano – Capitolo 3: Criteri e metodologie - pag. 41 di 87

$$T = 660(1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20$$

### Equazione 26

Questa sostanzialmente ricalca la curva ISO fino ad una temperatura ambientale vicina a 600 °C, finendo per stabilizzarsi poco sopra tale valore.

Possiamo asserire che l'obiettivo di limitare la propagazione del fuoco alle opere attigue, viene perseguito allo scopo di:

- garantire la sicurezza degli occupanti d'altre opere vicine e lontane da quella in fiamme;
- evitare le esplosioni e le possibili conseguenze, come la perdita di servizi essenziali (ospedali, sistemi di comunicazione<sup>40</sup>) o la perdita di risorse, e la distruzione generalizzata di abitazioni civili e di strutture edilizie;
- consentire alla squadre di vigili del fuoco di domare l'incendio (l'irraggiamento provocato dai grandi incendi può impedire alle squadre antincendio e di soccorso d'avvicinarsi).

Si prendono in considerazione due situazioni:

- propagazione del fuoco tra opere completamente separate tra loro, come gli edifici prospicienti;
- propagazione del fuoco tra opere adiacenti, ma separate da una parete tagliafuoco.

---

<sup>40</sup> Casi che richiedono elevati livelli di qualità delle prestazioni di resistenza al fuoco.

### *4.3 Il modello di gestione*

---

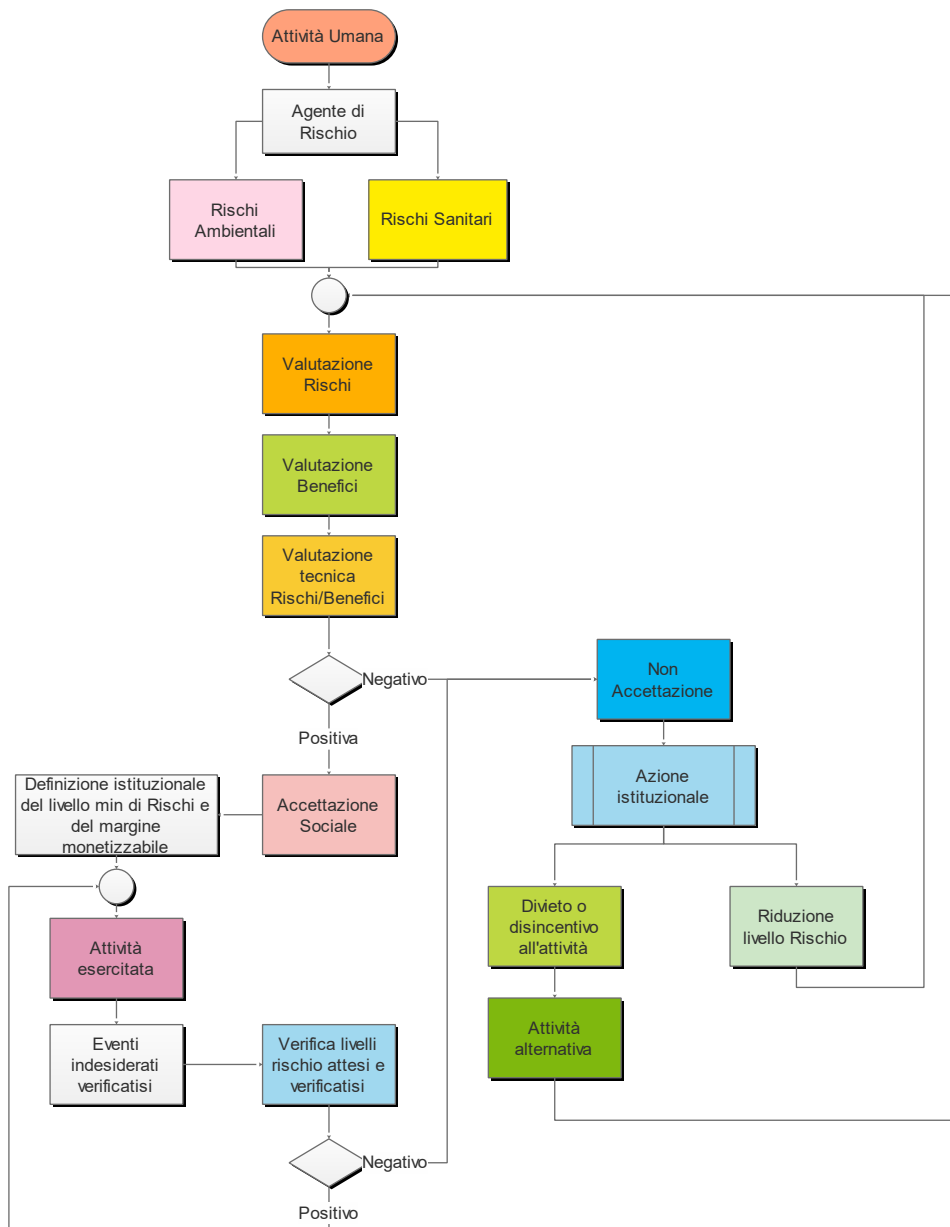
Si può sicuramente affermare che l'effetto domino in senso matematico, può essere usato per interpretare effetti che si propagano e si amplificano oltre il limite fisico dello scenario dell'evento primario.

Così una esplosione di una bombola di gas ha effetti tanto intorno alla fonte dell'incidente, tanto a distanza; un allarme che scatena il panico in uno stadio, ha effetti tanto nel luogo da cui l'allarme è partito, ma il panico si propaga e riverbera su tutta la popolazione presente e può avere effetti anche fuori lo stadio creando incidenti con auto ecc.

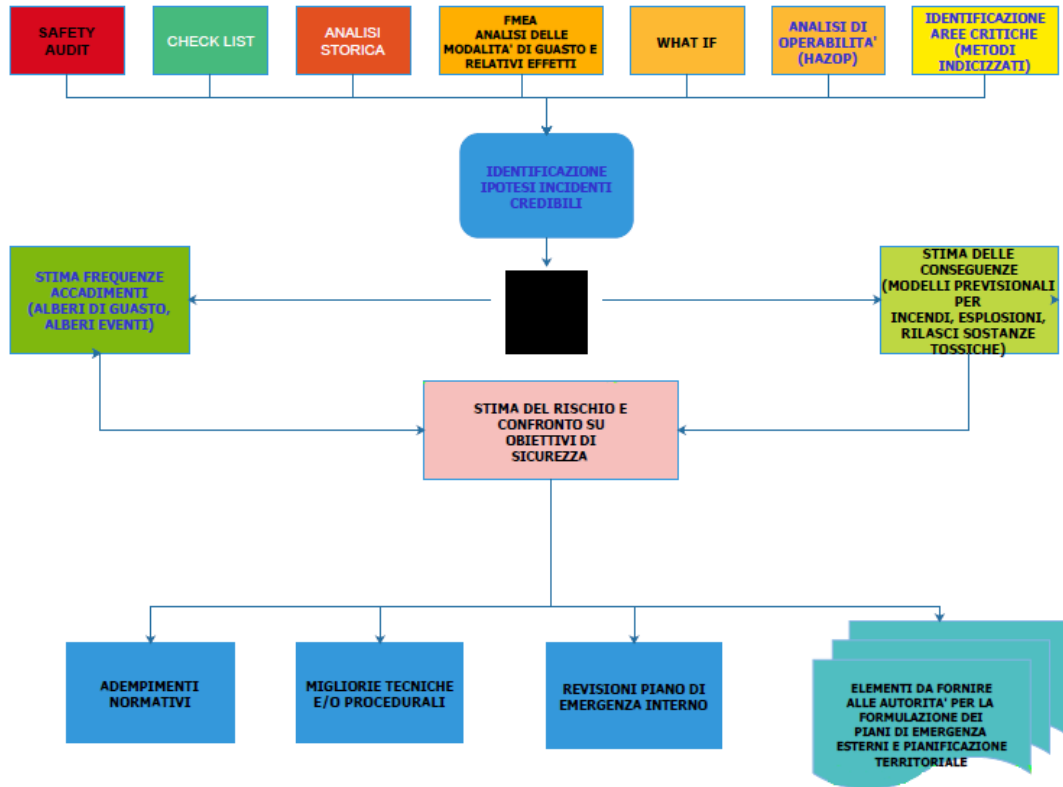
È possibile affermare che l'adozione di un sistema di gestione ha una forte influenza sulle capacità di controllo del rischio e nel campo della politica di prevenzione porta alla definizione di azioni legate a fattori tecnici, umani e organizzativi. La efficienza dei sistemi tecnici di prevenzione dipende dalla struttura organizzativa e di gestione (manutenzione, educazioni, audit).

Una attività, qualunque essa sia, produce un aumento di rischi ambientali e sanitari che devono essere valutati anche sotto il punto di vista di costi e benefici. Tale analisi, per essere rigorosamente valida, comporta inoltre la piena e completa conoscenza di tutti i possibili effetti positivi e negativi, diretti o indiretti di una attività o prodotto. Come è evidente la condivisione di un piano aziendale è condizione essenziale per una gestione del rischio.

L'accettazione di nuovi rischi e quindi la loro gestione si attua così attraverso uno schema decisionale (di tipo democratico, cioè che implica una reale accettazione sociale del rischio e non una sua imposizione) del tipo indicato in fig. 33



**Figura 41 – Schema logico di un sistema di gestione dei rischi**



**Figura 42 Procedura di Audit**

I sistemi di gestione della Sicurezza hanno la loro efficacia se e solo se sono stati posti in essere adeguati sistemi di verifica e monitoraggio con cadenze periodiche ravvicinate. In letteratura, come già accennato, vi sono sistemi che prevedono Audit di III parte o semplici buone prassi. In entrambi i casi un sistema di Audit interno/esterno contribuisce al suo funzionamento.



#### ***4.3.1 il SGSL BS OHSAS 18001:2007***

---

Un Sistema di Gestione della Salute e Sicurezza sul Lavoro (SGSL) è un sistema organizzativo finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di salute e sicurezza aziendale, progettato con il più idoneo rapporto tra costi e benefici.

L'implementazione di Sistemi di Gestione della Salute e Sicurezza sul Lavoro rappresenta un'opportunità per la riduzione degli infortuni e delle malattie professionali nelle aziende.

Grazie all'art. 30 del Testo Unico della sicurezza (ex. D. Lgs. 81/2008) i sistemi di gestione sono introdotti come momento fondamentale per la garanzia della sicurezza all'interno delle aziende.

L'esistenza di una "politica aziendale" complessiva in materia di SSL, l'identificazione e la divisione di ruoli, compiti e responsabilità, la spinta al miglioramento continuo tramite la pianificazione di sempre nuovi obiettivi ed il controllo sul loro raggiungimento, l'enfasi sulla formazione la comunicazione come elementi di condivisione e consapevolezza tra le diverse funzioni, possono garantire un miglioramento nel tempo delle condizioni di salute e sicurezza del lavoro nelle aziende, quindi offrire grandi vantaggi in termini di competitività. Il SGSL resta comunque un'applicazione volontaria da parte delle aziende che, inoltre, quando decidono di adottare un SGSL devono rivalutare la propria organizzazione, ripensare le proprie politiche di prevenzione, i propri processi investendo in risorse umane, interne ed esterne, ed economiche di cui non sempre dispongono nella giusta misura.

Un programma sperimentale, cominciato in America nel 1970 sotto Nixon e tuttora in corso, condotto dall'Occupational Safety and Health Administration (OSHA), di adesione volontaria agli standard di sicurezza sul lavoro delle OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series), ha dimostrato che le 178 aziende che avevano aderito, nel tempo hanno ridotto gli infortuni del 45% rispetto ai valori attesi e del 55% rispetto alle aziende dello stesso settore produttivo, con una riduzione dei giorni lavorativi persi del 49%.

Alcune aziende aderenti al programma hanno registrato anche un incremento della produttività aziendale (+13% in tre anni) ed una diminuzione negli scarti di produzione ( - 16% in tre anni).

In Italia l'INAIL (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro) ha più volte stimato il costo economico sociale complessivo degli infortuni e delle malattie professionali, arrivando nel 2007, su base dati del 2005, ad un valore di circa 45 miliardi di euro, all'incirca il 3% del PIL del nostro Paese; a tal riguardo ha introdotto un sistema di

gestione della Sicurezza ispirato all'OHSAS, più snello e senza l'obbligo di visita da parte di un Ente certificatore.

Possiamo quindi dire che gli standard affermati nel nostro Paese sono le Linee Guida per un Sistema di Gestione della Salute e Sicurezza sul Lavoro (meglio note come Linee guida UNI – INAIL – Parti sociali), e le BS OHSAS 18001.

Il livello di sicurezza è, di fatto, influenzato dagli stessi fattori che determinano la “competitività” di un'organizzazione quali il:

- modello organizzativo adottato;
- livello di preparazione del personale;
- motivazione e partecipazione del personale;
- livello tecnologico ed efficienza di impianti, macchinari, attrezzature, metodologia di lavorazione;
- monitoraggio continuo dell'organizzazione e verifica dei risultati raggiunti.

In Italia inoltre con il D. Lgs. 231/01 le aziende in caso di incidente hanno la facoltà di avvalersi di un esonero delle responsabilità amministrative solo dimostrando di perseguire un sistema di gestione della sicurezza.

Il primo importante documento guida, riferito all'implementazione di un Sistema di gestione della Sicurezza nelle aziende nasce nel 1996 con la BS 8800 – “Guide to occupational health and safety system”, elaborato dal BSI (British Standards Institution), l'ente di normazione del Regno Unito, fondato nel 1901 in Inghilterra come primo ente di normazione, con l'obiettivo di promuovere norme a supporto delle imprese.

BS 8800 rappresenta una linea guida, con lo scopo di fornire uno standard gestionale di adozione volontaria che consentisse alle aziende di facilitare la gestione dei rischi, migliorare le condizioni di salute e sicurezza connesse con le loro attività ottenendone un ritorno economico, sviluppando quindi un'immagine responsabile dell'azienda nel mercato.

In seguito all'uscita della BS 8800, l'International Standard Organization si è mobilitata per la creazione di una norma standard di carattere internazionale per i sistemi di gestione della salute e della sicurezza sul lavoro senza però trovare una conclusione positiva, fino ad oggi.

La Comunità Europea, in seguito al tragico incidente del luglio 1976 di Seveso (come ricordato nell'introduzione), decise di avviare una politica comune per evitare che potessero ripetersi incidenti dalle conseguenze così devastanti per gli abitanti e l'ambiente circostante. Nacque così la direttiva 82/501/CEE (cosiddetta “Direttiva Seveso I”), che a distanza di diversi anni è stata modificata da altre due direttive (96/82/CE o “Seveso II” e 2003/105/CE

o “Seveso III”), le quali hanno introdotto, tra le varie modifiche, anche **il principio della necessità di un approccio gestionale** e non solo basato sulla sicurezza degli impianti per prevenire gli incidenti rilevanti.

La **UNI 10617** (aggiornata nel 2009), pur non essendo certificabile, è stata resa obbligatoria negli stabilimenti a rischio di incidente rilevante (cosiddetti stabilimenti a rischio “Seveso” o RIR), specificando i requisiti base di un Sistema di Gestione della Sicurezza applicabile a tutte le fasi del ciclo di vita di un impianto e i requisiti specifici per svolgere le relative attività operative.

Nel 2008 sono state ripubblicate le OHSAS 18002 (Occupational Health and Safety Management System – “Guidelines for the implementation of OHSAS 18001”), linee guida per l’applicazione delle 18001. Riportiamo di seguito una tabella riassuntiva dei principali sistemi di gestione che troviamo in azienda.

**Tabella 23 – Principali Sistemi di Gestione**

<b>Fornitura di beni e servizi</b>	<b>ISO 9001</b>
<b>Aspetti ambientali</b>	<b>ISO 14001</b>
<b>Sicurezza sui luoghi di lavoro (regolato dal D. Lgs. 81/08)</b>	<b>BS OHSAS 18001</b>
<b>Responsabilità amministrativa delle persone giuridiche (regolato dal D. Lgs. 231/2001)</b>	<b>SA 8000</b>

Così come per gli Standard ISO, anche questo standard propone come modello di riferimento quello della ruota di Deming ovvero del miglioramento continuo. Il modello si avvantaggia riproponendo un ciclo PDCA (Plan – Do - Check – Act) che, attraverso l’adozione di una politica aziendale volta al miglioramento, innesca nell’azienda un ciclo virtuoso atto a trasferire in tutte le attività il modello proposto.

In definitiva, adottare un Sistema di tipo OHSAS 18001 vuol dire che una Organizzazione:

- si mette in condizione di conoscere a fondo tutti i pericoli in essa presenti ed i rischi cui sono sottoposti i propri appaltatori ed i propri ospiti;
- acquisisce una vera consapevolezza nel merito di quanto effettivamente sta facendo per ridurre i rischi;
- si pone il problema di portare sicurezza “nel cuore” del proprio business e delle proprie strategie per il futuro;
- ha la certezza di aver identificato e capito tutti i requisiti e adempimenti legali che la riguardano ed è sicura di rispettare la legge.

Un sistema di questo tipo, quindi, permette ad un'organizzazione di sviluppare una politica della sicurezza e salute sul lavoro, stabilire obiettivi e processi per conseguire gli impegni espressi dalla politica, intraprendere azioni necessarie a migliorare la propria prestazione e dimostrare la conformità del sistema ai requisiti dello Standard OHSAS.

Fra le novità apportate nello scenario normativo internazionale dalla BS OHSAS 18001:2007, la principale è l'aver recepito il principio secondo cui il maggior contributo per la salvaguardia della salute e della sicurezza sui luoghi di lavoro deriva dalla capacità umana di gestire i potenziali rischi, in una prospettiva di minimizzazione progressiva, che si riflette nel dare maggiore enfasi al concetto di "salute", piuttosto che a quello di "sicurezza".

Lo Standard 18001:2007 è strutturato secondo le seguenti voci:

1. l'adozione di una politica per la gestione della sicurezza (4.2);
2. l'identificazione dei pericoli, la valutazione dei rischi e la determinazione delle misure (4.3.1);
3. l'osservazione dei requisiti di legge e altri requisiti (4.3.2);
4. la definizione di programmi ed obiettivi specifici (4.3.3);
5. la definizione di risorse, ruoli, responsabilità e deleghe (4.4.1);
6. competenze, formazione e coinvolgimento del personale (4.4.2);
7. modalità di comunicazione, partecipazione e consultazione dei dipendenti e delle parti interessate (4.4.3);
8. l'utilizzo e la gestione controllata della documentazione (4.4.5);
9. l'adozione delle misure di prevenzione e protezione in relazione ai rischi identificati (4.4.6);
10. la preparazione e la risposta alle emergenze (4.4.7);
11. il monitoraggio e la misurazione delle prestazioni del sistema per la sicurezza e salute (4.5.1), nonché per il mantenimento della conformità legislativa (4.5.2);
12. la realizzazione di investigazioni sugli incidenti (4.5.3.1);
13. la gestione delle non conformità e l'adozione di azioni correttive/preventive (4.5.3.2);
14. il controllo delle registrazioni (4.5.4);
15. l'effettuazione di audit interni ad intervalli pianificati per verificare l'adeguatezza del sistema gestionale (4.5.5);
16. la versione da parte dei management ad intervalli pianificati per assicurare che il sistema continui ad essere idoneo, adeguato ed efficace (4.6).

Non intenzione approfondire ulteriormente la norma BS OHSAS 18001, ma è importante comprendere come sia riconosciuto a livello globale l'efficacia e l'efficienza di un sistema di

gestione della sicurezza al fine di ridurre il numero di incidenti all'interno delle aziende e di migliorare lo standard di salute e sicurezza per i lavoratori.

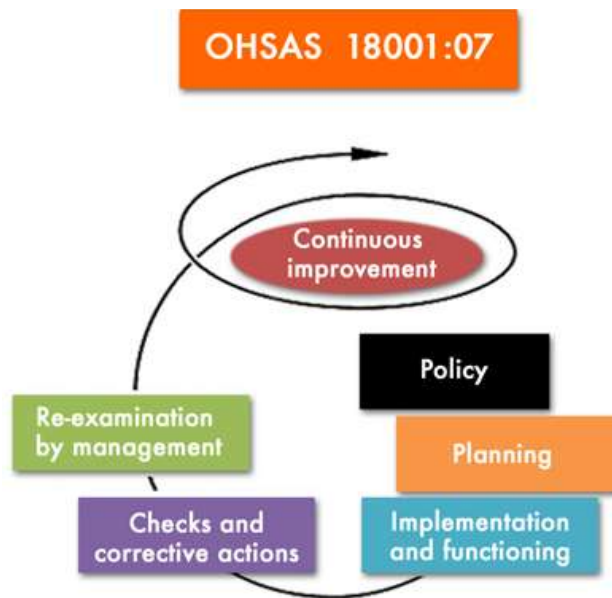


Figura 43 – Schema relativa agli elementi del sistemi OH&S

### 4.3.2. Integrazione del modello di gestione

Nel capitolo relativo alle norme antincendio, abbiamo visto come sia stato introdotto un sistema di gestione, il SGSA, anche relativamente ai rischi incendio, ed abbiamo visto che anche per la sicurezza esiste un siffatto modello di gestione.

Entrambi i modelli di gestione partono dal presupposto che la direzione abbia adottato una politica condivisa atta ad applicare tutte quelle forme partecipative della sicurezza che si attuano con il nostro SGSL.

Quello che si vuole fare è un sistema di gestione ispirato ai modelli OH&S e che tenga presente tanto la gestione del rischio incendi quanto quello dell'effetto domino.

Si può partire eseguendo la progettazione antincendio per una attività generica.

Il modello logico per la progettazione antincendio, come già detto, valuta innanzi tutto se una attività sia o meno governata dal norme verticali o si debba ricorrere a norme orizzontali:

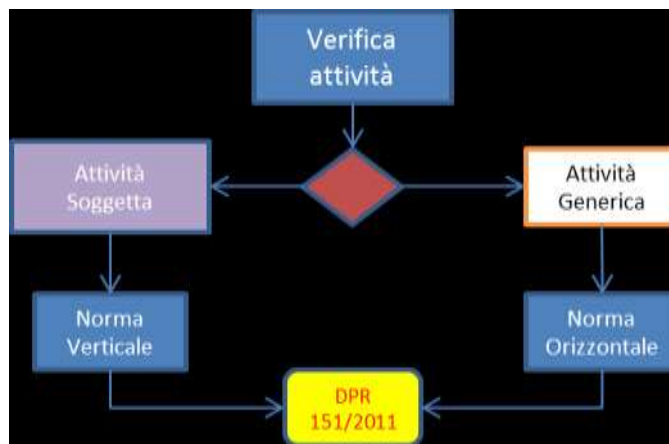


Figura 44 : Passo 1 Verifica attività

In ogni caso, una volta operata la scelta, per ottenere la certificazione da parte dei VVF è necessario seguire le indicazioni del DPR 151/2011.

Utilizzando una sintassi di programmazione, si va a definire passo per passo il modello da adottare (la scelta di tale sintassi è legata alla sua facilità di comprensione e di utilizzo in caso di trasposizione in linguaggio di programmazione ai fini di realizzare un software di calcolo).

**Passo 1 –  
Verifica  
attività**

1. Input "tipo di attività":(ATT);
2. IF (ATT) è normata THEN GOTO Norma Verticale ELSE GOTO Norma Orizzontale;
3. Procedure (Verifica caratteristiche (ATT) allegato 1 DPR 151/2011);
4. IF (ATT) è di tipo A THEN GOTO (procedura Scia semplice);

5. *IF (ATT) è di tipo B THEN GOTO (procedura SCIA senza parere);*
6. *IF (ATT) è di tipo C THEN GOTO SCIA per CPI ELSE END;*

A questo punto bisogna scegliere lo scenario.

Per quanto riguarda gli incendi, alla definizione dei possibili scenari individuati si aggiungono agli otto scenari descritti dalle norme **NFPA 101 - Life Safety Code e NFPA 5000 - Building Construction and Safety Code**, nei quali trovano collocazione, con possibilità di integrazione da parte del progettista, i vari problemi inerenti le vie d'esodo, la presenza di persone, la propagazione dell'incendio agli edifici adiacenti, le caratteristiche dei materiali combustibili e le misure di protezione attiva e passiva.

**NFPA 101 - Life  
Safety Code e  
NFPA 5000 -  
Building  
Construction  
and Safety  
Code**

Tali scenari predefiniti sono i seguenti:

- **scenario n. 1:** scenario tipico che considera le attività, il numero e la localizzazione degli occupanti, le dimensioni degli ambienti, la natura e l'entità degli arredi e degli altri elementi presenti, le proprietà dei materiali combustibili e delle possibili sorgenti di ignizione, le condizioni di ventilazione con specifica definizione del primo elemento che prende fuoco e la sua localizzazione;
- **scenario n. 2:** scenario che considera un incendio a sviluppo ultraveloce, ubicato in corrispondenza delle vie primarie di uscita con le porte interne aperte all'inizio dell'incendio;
- **scenario n. 3:** scenario con incendio che ha inizio in un ambiente normalmente non occupato e che potenzialmente può mettere in pericolo un grande numero di persone in un ampio ambiente limitrofo o in un'altra area dell'edificio;
- **scenario n. 4:** scenario con fuoco che ha origine a parete o a soffitto in posizione adiacente ad un ambiente con alta presenza di persone;
- **scenario n. 5:** scenario con fuoco che si sviluppa lentamente in posizione non coperta dai sistemi di protezione e in prossimità di una zona con rilevante presenza di persone;
- **scenario n. 6:** rappresenta lo scenario d'incendio più grave, derivante da un carico d'incendio più elevato di quello caratteristico del normale uso dell'edificio, a sviluppo rapido e con presenza di persone;
- **scenario n. 7:** scenario con incendio che si sviluppa al di fuori della zona d'interesse (incendio esterno) e che risulta suscettibile d'estendersi a quest'ultima, di bloccarne le uscite o di determinare condizioni interne non sostenibili;
- **scenario n. 8:** scenario d'incendio con fuoco avente origine in un ambiente o area dell'edificio d'interesse dato il malfunzionamento e/o la non presenza delle misure

di protezione attive o passive in quanto messe fuori uso o disattivate singolarmente in sequenza.

La scelta dello scenario la conduciamo secondo quello che abbiamo visto per un RIR: ipotizziamo che vi siano due unità di partenza e che una possa essere considerata come sorgente e l'altra come bersaglio.

La sorgente, per poter essere innesco di un effetto domino, deve possedere le caratteristiche fisiche di avere un potere calorifico sufficientemente alto e di poter avere elementi che sottoposti a sollecitazione termica, possono cedere e rilasciare sostanze o esplodere con conseguente proiezione di materiale.

**Passo 2 –**  
**Inserisci**  
**scenario**

1. *Input Dimensioni struttura*
2. *Input Quantità materiale*
3. ....

**Passo 3 –**  
**Calcola valori**

4. *Usa algoritmo DM 2007*
5. *Resistenza al fuoco*
6. *Affollamento*
7. *Carico di incendio*
8. ....

**Passo 4 –**  
**Progettazione**  
**In base ai**  
**calcoli eseguiti**

9. *Rete idranti*
10. *Porte tagliafuoco*
11. *Estintori*
12. *Evacuatori fumo*
13. *Uscite di emergenza*
14. ....

**Passo 5 –**  
**Redazione PIN**

Questo passo viene eseguito scaricando dal sito dei VVF la documentazione Obbligatoria per la redazione della SCIA antincendio.

Nello schema sono evidenziati i percorsi logici legati all'adozione della regola tecnica senza tener conto di effetti domino.

Come si può intuire, la rispondenza alla norma tecnica mette relativamente al sicuro gli ospiti della attività ma nulla dice sugli effetti che avrebbe un incidente sulle strutture adiacenti alla azienda o sulla popolazione.

Volendo gestire dei rischi derivanti da effetti causati da incidenti che possono accadere anche a notevoli distanze dallo scenario del secondo evento, ciò comporta l'irrobustimento del sistema.

L'effetto domino si andrebbe a porre a valle del passo 4 secondo il seguente schema



1. *Calcola effetti irraggiamento, proiezione ecc. curve isorischio*
2. *Verifica presenza altre attività e/o bersagli sensibili nel raggio di influenza*
3. *Se non ci sono altre attività vai direttamente al passo 5*
4. *Se ci sono attività utilizza calcolo ED per valutare rischio*

**Passo 4 bis –  
Effetti a  
cascata**

A questo punto è chiaro che l'ipotesi che un evento secondario, in qualsiasi modo generato, può influenzare il nostro metro di valutazione dei rischi.

Come è ben noto in letteratura e facendo riferimento ai concetti di gestione dei rischi, la valutazione delle frequenze di accadimento dei possibili effetti domino può essere stimata secondo un criterio di valutazione della probabilità congiunta che a partire dallo scenario iniziale sviluppi la catena degli eventi che porta fino allo scenario secondario, mediante la tecnica dell'albero degli eventi.

All'interno dell'albero, come si è già visto, saranno valutati i seguenti fattori:

- Probabilità di effetto domino per esposizione a fiamma / irraggiamento;
- Probabilità associata alla posizione dell'apparecchiatura bersaglio, rispetto a quella di origine; fattore di direzionalità (applicato soltanto per lo scenario Jet fire);
- Probabilità di inefficiente protezione fornita dagli eventuali sistemi passivi disponibili;
- Probabilità di inefficiente protezione fornita dagli eventuali sistemi attivi disponibili.

### 4.3.3 Utilizzo delle Procedure integrate

Ci ritorna utile per la costruzione del modello, schematizzare le procedure secondo una sintassi di programmazione.

Nella Prima procedura andiamo a verificare se l'Azienda è RIR o no: nel caso di azienda di tipo RIR si farà riferimento ad una procedura che tenga conto delle prescrizioni della normativa Seveso. Avendo in letteratura tutta una serie di strumenti atti al calcolo per aziende e Rischi Rilevanti, possiamo differire a tali programmi il calcolo.

Per seconda cosa, nel caso non siamo di fronte a rischi Rilevanti, dobbiamo vedere a che azienda stiamo applicando il nostro sistema.

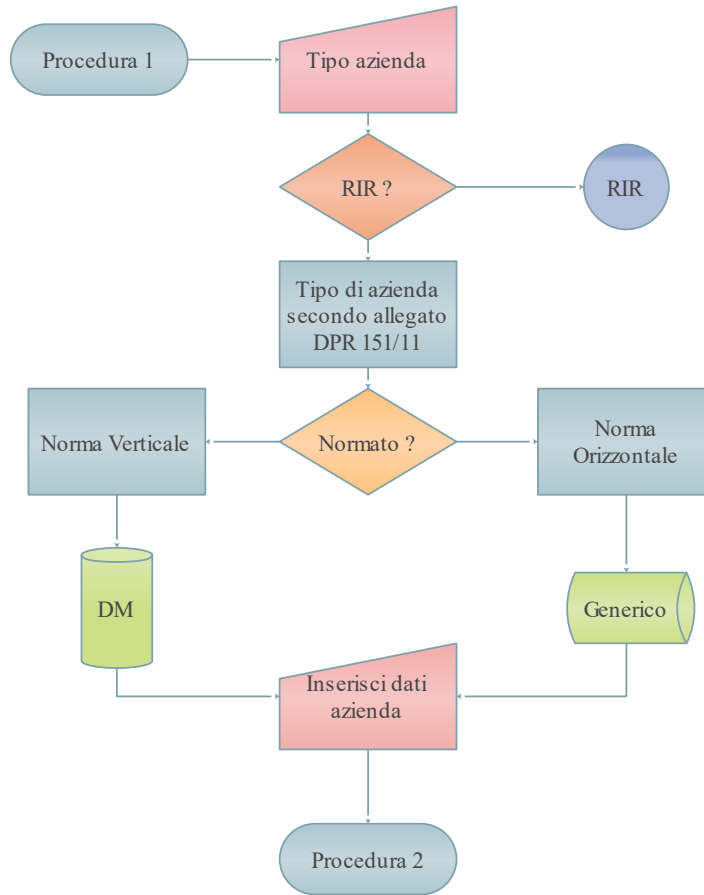


Figura 45 Schema a blocchi per la definizione dei criteri di scelta della Norma

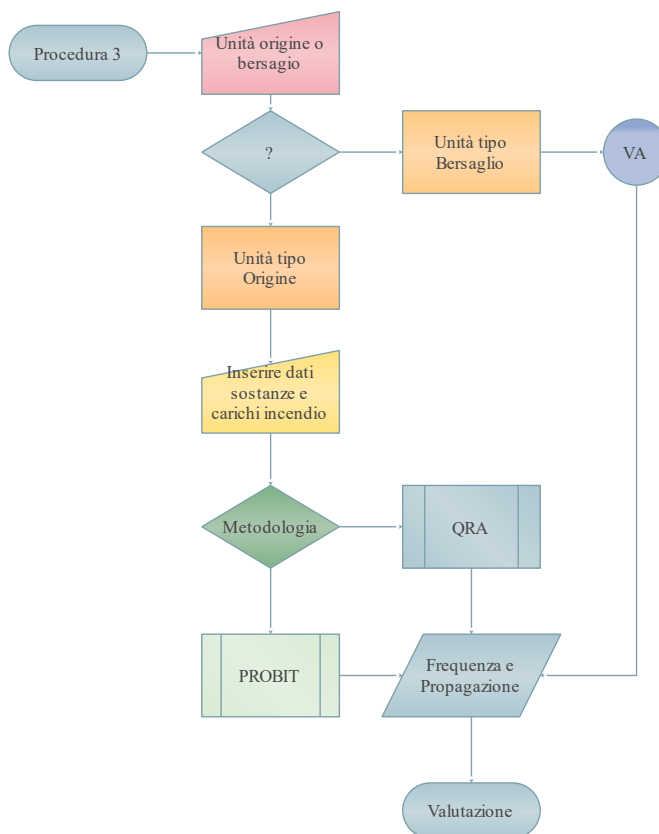
#### Procedura 1

1. {"Verifica tipo di attività"}
2. Input: "L'attività è di tipo RIR?": (RSP)
3. IF (RSP) = "SI" THEN GOTO procedura SEVESO III
4. {vai alla procedura creata per la valutazione di un RIR}
5. IF (risposta) = no THEN procedi
6. {Verifica genere attività}
7. Input "l'attività ha una Norma Verticale?": (Ver)

8. IF (Ver) = SI THEN GOTO Procedura scelta della norma
9. IF (Ver) = NO THEN GOTO Procedura norma orizzontale D.M. 10 marzo 1998
10. {in questo caso la procedura dovrebbe essere generica}
11. {"Scelta norma tecnica di riferimento"}
12. Input: "in quale attività soggetta ricade l'azienda?": (ATECO)
13. Case (ATECO):[ Albergo, Locali Pubblico spettacolo, Ospedale, Scuola, Metropolitana, Luoghi di culto...];
14. IF (ATECO) = Albergo GOTO DM
15. IF (ATECO) = Locali Pubblico Spettacolo GOTO DM
16. ....
- 17.

1. {vengono immessi in Input i dati azienda}
2. Input Superficie: S
3. Input Altezza: H
4. Input Uscite:  $N_{Exit}$
5. Input Affollamento:  $A_f$
6. Input Accesso:  $N_{acc}$
7. ...

**Procedura 2**

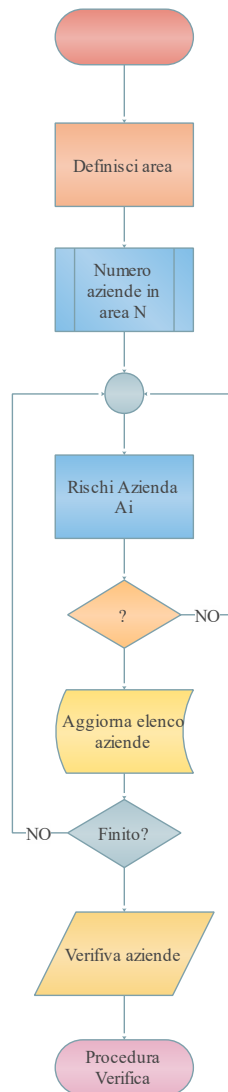


**Figura 46 – Schema procedura individuazione unità**

**Procedura**

**Individua**

1. Input "In che area è la tua azienda ?": Loc
2. Map =(Loc i,j)
3.  $i=\{ 50,100,150,\dots,500\}$
4.  $j=\{0\dots 10\}$
5. for i= 50 to 500 do begin
6. for j=0 to 10 do
7. input Map(i,j)
8. end;
9. {abbiamo creato la mappa}
10. for i= 50 to 500 do begin
11. for j=0 to 10 do
12. IF Loc(I,j)= 1 then A=1 else A=0
13. IF A=1 and i<100 THEN AggiungiDB
14. IF A=1 and i >=100 THEN "Supera distanza soglia"
15. end;
16. GOTO Procedura verifica



**Figura 47 – Individuazione Aziende presenti**

1. *Usa dati localizzazione evento*
2. *Individua bersagli*
3. *Individua curve di isorischio*
4. *Valutazione probabilità di interazione*

**{Procedura  
determinazion  
e interazione}**

5. *Input: “uscite emergenza collocate lungo le aree di interazione?”*
6. *Se SI allora vai a GESTIONE DE*
7. *Se NO allora gestisci con SG normale*

**{Procedura di  
verifica}**

A questo punto si è definito qual è l'attività oggetto della verifica, se ne sono definiti i valori di rispondenza alla norma tecnica Verticale e le eventuali interazioni in caso di incidente causato da fonte esterna.

## CAP V Applicazione del Modello

### 5.1 Determinazione dello scenario

Per poter eseguire una utile verifica del modello di gestione dei rischi e sondarne l'efficacia, si sono fatte alcune ipotesi di lavoro semplificative. Innanzi tutto si è preso in esame la statistica degli incendi documentati e per il quale si è potuto avere un sufficiente numero di dati per poterne descrivere lo scenario incidentale.

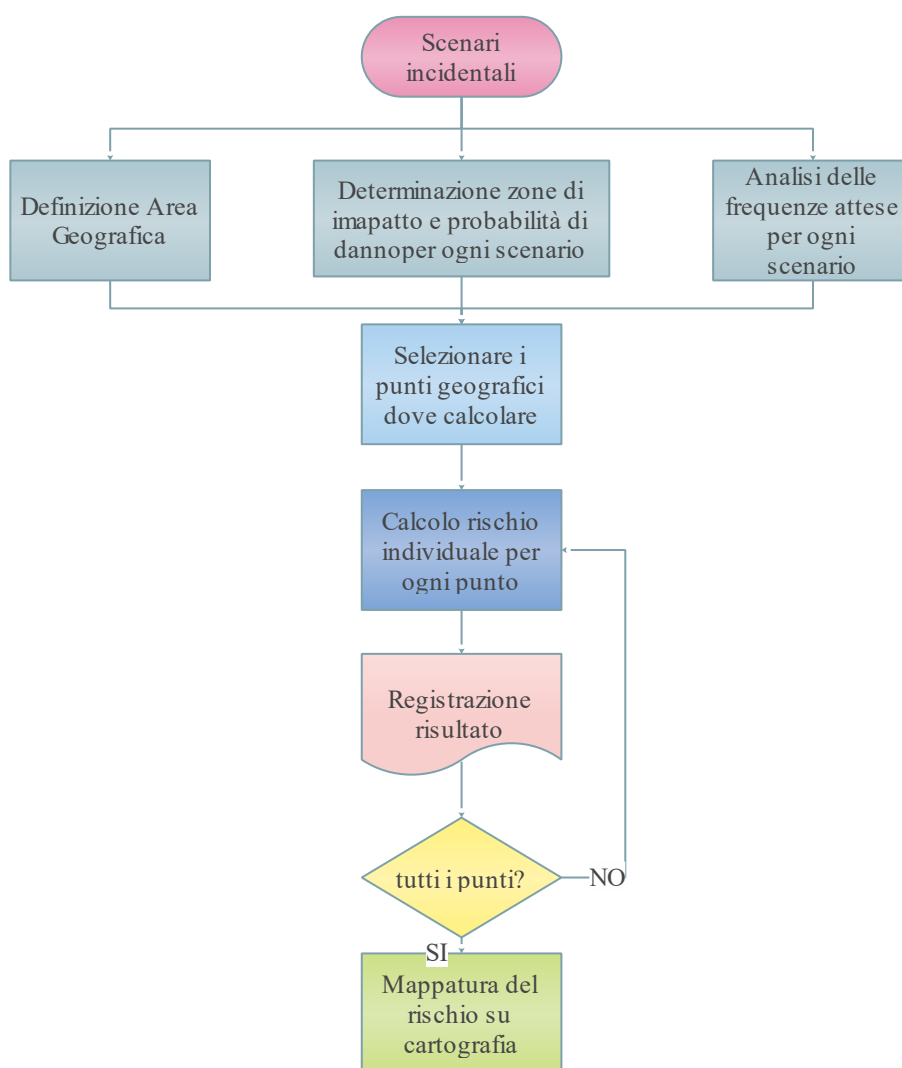


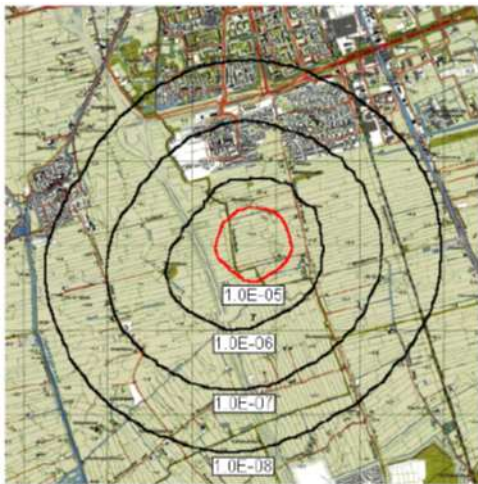
Figura 48 – Identificazione dello scenario

Nella banca dati dei Vigili del Fuoco sono documentati e classificati diversi incidenti legati agli incendi con implicazioni più o meno gravi sia per le strutture, per il territorio e per gli essere umani.

Nella lettura dei dati balzano agli occhi eventi incidentali come quello del giugno 2009 con l'incidente occorso a Viareggio che provocò ben 32 morti con diversi feriti e danni a strutture e macchine per diverse centinaia di migliaia di euro di danni.

Nell'analisi dei settori maggiormente esposti al rischio incendio con eventuali esplosioni, fa meraviglia notare come la percentuale degli incidenti in civili abitazioni sia sempre la più alta con valori ben oltre il 50%. Sempre dalla medesima analisi emerge che il settore industriale si attesta intorno al 10-12% e che quindi non rappresenta, per frequenza, il principale settore di rischio, mentre il trasporto su gomma conferma essere un settore in cui gli incidenti con incendio ed esplosione sono fortemente in crescita.

La peculiarità del trasporto su gomma rende ostica una gestione dei rischi in quanto lo scenario incidentale varia in continuazione e le variabili dovute ad altri fattori, come la



**Figura 49 Esempio di Distanze di suscettibilità – rischio individuale**

natura del carico, non permettono una standardizzazione del modello.

Essendo lo scopo della ricerca quella di definire un modello di Gestione dei Rischi, in particolare di quelli incendio in aziende non RIR, lo scenario esclude per il momento di poter valutare incidenti legati al settore del trasporto su gomma.

Una seconda ipotesi è che l'incidente può essere prevenuto o comunque controllato, se gli effetti domino sono contemplati.

Nello schema di Figura 47 si vede come lo scenario si definisce individuando innanzi tutto l'Area Geografica in cui si vuole condurre l'analisi.

Si possono individuare tre distinti criteri di "cut-off" per gli scenari dovuti ad effetto domino:

- soglie basate su valori degli effetti fisici o su distanze di sicurezza
- cut-off basati sulla probabilità di propagazione
- cut-off basati sulla frequenza di accadimento

Gli ultimi due criteri sono di interesse specifico in un'analisi quantitativa del rischio, mentre la prima tipologia di criteri può avere svariate applicazioni (determinazione delle distanze di danno per le apparecchiature, individuazione dei potenziali bersagli di effetto domino, etc).

Si aggiunga che a seconda del tipo di top – event si possono determinare uno più scenari incidentali riconducibili all'effetto domino.

La determinazione degli scenari si deve ricondurre ad una analisi quantitativa e/o probabilistica. L'analisi quantitativa fa riferimento a valori tabellati per le soglie di propagazione: l'utilizzo di questi valori riduce il numero di scenari aggiuntivi credibili.

Per quanto riguarda i criteri di cut-off di tipo probabilistico, sono stati utilizzati i seguenti valori:

- $10^{-6}$  per la probabilità di propagazione, al di sotto della quale si ritiene non credibile lo scenario
- $10^{-12}$  eventi/anno per la frequenza attesa dello scenario, al di sotto della quale si ritiene non credibile lo scenario

L'applicazione di questi criteri risulta fondamentale per ridurre il numero degli scenari la cui valutazione è necessaria al fine della stima degli indici di rischio.

La valutazione dettagliata delle conseguenze di scenari dovuti ad effetto domino attraverso lo sviluppo attuale della modellistica incidentale, non è attualmente possibile. Attualmente l'applicazione di modelli complessi, basati su modelli tridimensionali o su codici CFD per l'irraggiamento comporta un dispendio di risorse computazionali e un grado di dettaglio non praticabili. Pertanto l'unica strada attualmente percorribile per l'analisi delle conseguenze di effetti domino passa attraverso la combinazione lineare degli effetti fisici, ovvero la "somma" delle conseguenze in termini di probabilità di morte. Ciò equivale a trascurare i possibili effetti sinergici causati dalla contemporaneità degli eventi.

Si può affermare che le conseguenze di un incidente riconducibile ad effetto domino è il risultato dalla somma delle mappe degli effetti fisici (irraggiamento, sovrappressioni, ecc.) relative agli eventi primario e secondario considerati separatamente.

Le mappe di vulnerabilità offrono una stima della probabilità di danno più facilmente gestibili dai software per l'analisi del rischio d'area.

In definitiva si ritorna all'utilizzo di curve F-N già viste nella definizione di rischio sociale in presenza ed in assenza di effetto domino. Il loro utilizzo rende ancora più evidente l'incremento del rischio locale e sociale dovuto agli scenari "domino".

Possiamo affermare che esiste una differenza sostanziale tra rischio Sociale, normalmente individuato dalle curve F-N , e il rischio individuale e locale; infatti il rischio locale non dipende dalle caratteristiche abitative dell'area in esame (tipologia, densità e distribuzione



della popolazione), mentre il rischio individuale e sociale ne dipendono in maniera essenziale.

In quella che si definisce una *misura di rischio*, sono essenzialmente contenuti tre tipi di informazione:

la prima è relativa alla frequenza/probabilità dell'evento, o della **catena di eventi**, che è all'origine dell'incidente;

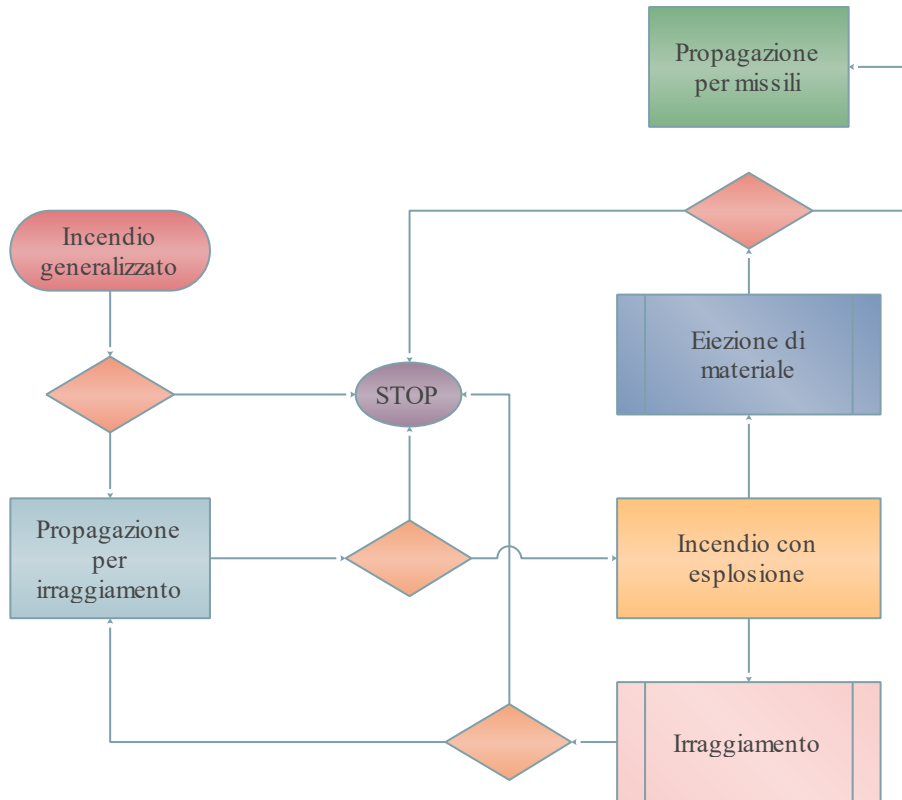
la seconda si riferisce al tipo e alla distribuzione degli effetti fisici che si ritiene essere responsabili del danno di riferimento (irraggiamento termico negli incendi, onde di sovrappressione nelle esplosioni, ecc.);

la terza è quella che collega l'effetto fisico con l'entità del danno subito.

Nel caso poi del rischio sociale, interviene un quarto tipo di informazione che riguarda la popolazione che vive nella zona di indagine, vi risiede o abita, vi lavora o vi transita solamente.

## 5.2 Ipotesi di lavoro e Applicazione del modello

Andiamo a eseguire una progettazione dei sistemi di sicurezza antincendio implementato con l'analisi di scenari DE. .



**Figura 50 – Schema per la determinazione di effetti domino dovuti all'incendio**

Si vede come un incendio generalizzato può indurre una propagazione degli effetti termici per irraggiamento. Nel caso in cui tale fenomeno non si manifesta, unitamente agli effetti di sovrappressione e eiezione di missili, l'incendio segue lo sviluppo "normale" che è quello definito dall'approccio ingegneristico definito e definibile nelle norme verticali.

In presenza di effetti di propagazione, la progettazione deve ricorrere alla definizione di scenari incidentali più complessi così come in precedenza definito.

Assunto che si siano individuati uno scenario incidentale che prevede una sorgente e un "bersaglio", possiamo passare all'analisi degli effetti.

Nelle pagine precedenti abbiamo visto che è possibile definire delle curve di isorischio che, partendo dalle sorgenti, definisce delle distanze oltre le quali l'effetto della propagazione è insufficiente ad innescare effetti a valanga. L'introduzione nella procedura di calcolo avviene considerando che gli eventi iniziatori (o top) costituiscono una rappresentazione schematica delle localizzazioni vulnerabili degli impianti presenti nell'insediamento

industriale, e quindi si ricercano solo tra essi i possibili effetti domino, attraverso l'introduzione di *curve di interazione*, ciascuna essendo definita come il "luogo dei punti caratterizzati dalla massima distanza dalla sorgente fisica di un generico top alla quale può verificarsi il valore minimo di un effetto che provoca il danneggiamento di apparati".

Definito questo limite, grazie alla mappa GIS ottenuta, possiamo considerare una maglia con passo da definire (a seconda del grado di precisione che si vuole ) che intercetta sul territorio tutte le aree "sensibili".

Qualora in queste aree non vi siano attività o insediamenti civili che possono essere coinvolte in scenari incidentali, possiamo tranquillamente utilizzare un sistema di gestione del rischio incendio basato sulla sola norma verticale (o orizzontale se necessario).

Nel caso vi siano attività o insediamenti che possono essere coinvolti dagli effetti domino dovuti a incidenti primari, possiamo passare alla gestione del rischio secondo il modello che tiene conto dell'ED.

Una cosa importante da valutare è se l'attività ricadente nell'area sensibile, è a sua volta in grado di generare effetti a valanga: in caso affermativo il modello si complica e le curve di rischio individuale si sovrappongono a quelle precedenti.

In primo momento, quindi, abbiamo definito i limiti del problema per il quale non solo abbiamo valutato la necessità di identificare l'area occupata dalle sorgenti di rischio ma anche di delimitare l'area di impatto.

Tuttavia l'individuazione dell'area di impatto comporta l'ulteriore necessità di definire le proprietà dell'area:

- informazioni cartografiche (mappa del sito industriale ecc.);
- localizzazione dei centri di vulnerabilità (ospedali, scuole, musei, stadi,...);
- informazioni quantitative sulla distribuzione di popolazione (abitanti, lavoratori, turisti,...);
- informazioni meteorologiche

queste informazioni ci permettono di definire uno scenario accuratamente dettagliato e ci permettono di gestire eventuali rischi di reazioni a catena.

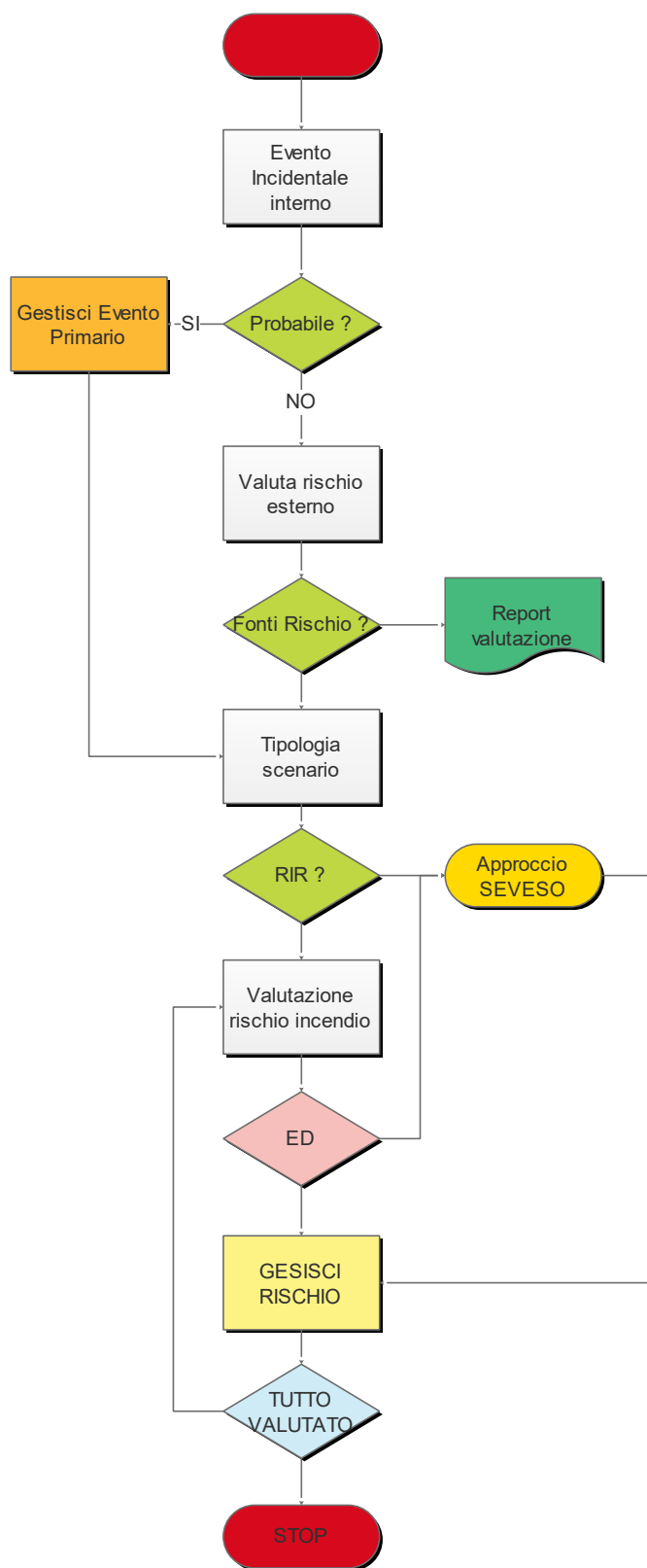


Figura 51 – Schema logico modello di gestione integrato

## *Conclusioni e sviluppi della ricerca*

---

La ricerca ha inteso conferire all'effetto domino una rilevanza che sino ad oggi gli era stata negata per via di una miope visione di quelli che sono gli scenari incidentali e il ruolo che possono avere gli affetti a valanga sulle attività non classificare come Seveso.

I risultati ottenuti non sono certamente esaustivi rispetto alle casistiche che possono riguardare gli incidenti con produzione ed emissione di energia termica e meccanica oltre che alla proiezione di parti ed eventuali emissioni di sostanze.

Il sistema di gestione prodotto dalle ipotesi della ricerca ha condotto la valutazione dei rischi incendi a considerare scenari non previsti dalle norme verticali relative alle attività soggette. In questo modo lo scenario incidentale si è ampliato e gli effetti di prospicenza e di interferenza sono parte essenziale del sistema e determinano la possibilità di una gestione coordinata tra varie attività, soggetto e non, al fine di una pianificazione del rischio che vada oltre i limiti fisici aziendali.

In prospettiva la ricerca potrebbe formulare un sistema di gestione dei rischi condiviso tra le varie attività presenti in un determinato territorio. Lo strumento di analisi e di valutazione degli effetti a valanga, inoltre, potrebbe essere sposato ad un più ampio discorso di programmazione degli interventi di mitigazione dei rischi dove la consapevolezza degli scenari incidentali potrebbe essere utile anche alla gestione politica del territorio e delle aree industriali.

L'impiego dei sistemi GIS, inoltre, è già stato testato per la definizione delle distanze di suscettività che determinano i limiti entro i quali le probabilità che un incidente si propaghi da una unità primaria ad una secondaria è significativamente concreta: grazie a questa tecnologia applicata all'utilizzo di droni, sarà possibile un censimento più preciso del territorio permettendo un modello sempre aggiornato rispetto alle modifiche del territorio dovute tanto ai fenomeni antropici che a quelli naturali.

In conclusione, la gestione di un'emergenza si può configurare come una operazione la cui complessità rappresenta la principale difficoltà che i diversi soggetti coinvolti incontrano sia nella fase di pianificazione che nella fase operativa.

La necessità di integrare e coordinare le azioni di molteplici attori, attori di competenze e conoscenze differenziate, tutte necessarie al superamento dell'emergenza in corso rappresenta la vera complessità del sistema. L'obiettivo di questo approccio è integrare il

sistema di valutazione dei rischi implementando il processo di pianificazione territoriale con quello di pianificazione d'emergenza utilizzando l'approccio dell'effetto valanga o Domino Effect e nel contempo armonizzare e velocizzare la risposta delle strutture coinvolte in una situazione di emergenza. Affinché ciò si possa realizzare, è fondamentale strutturare banche dati le cui codifiche di tutte le informazioni territoriali seguano standard comuni.

Questo contributo ha evidenziato le potenzialità dello strumento della gestione dei rischi con l'implementazione dell'effetto domino.

## ***BIBLIOGRAFIA***

---

Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2007b). Accidental risk of superheated liquids and a framework for predicting the superheat limit. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20, 165e181.

Abdolhamidzadeh B., Abbasi T., Rashtchian D., and Abbasi S.A., 2011, Domino effect in processindustry - An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 575–593.

Abdolhamidzadeh, B, Abbasi, T., Rashtchian, D., & Abbasi, S. A. (2010). A new method for assessing domino effect in chemical process industry. *Journal of Hazardous Materials*. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.06.049.

Amyot, D. E. (1980). Report on Mississauga train derailment and evacuation emergency planning. Canada, Toronto, Ont., Rep.

Andersson, B. O. (1991). An accident at a Lithuanian fertilizer plant. *Plant/Operations Progress*, 10, 221.

Annoni, A., Cumer, A., Progetto Corine LandCover: le mappe delle regioni italiane, 1995, Atti 7° Conv. Naz. AIT, Telerilevamento, GIS e cartografia al Servizio dell'Informazione Territoriale, Ed. XEA.

Antonioni G., Spadoni G. and Cozzani V. Application of domino effect quantitative risk assessment to an extended industrial area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22: 614-624.

APAT, 2005 informazioni disponibili su: <http://www.sinanet.it/progettoIFFI>.

ARIA base of BARPI, France ( [www.aria.environnement.gouv.fr](http://www.aria.environnement.gouv.fr) )

Assheton, R. (1930). History of explosions. Charles L. Storey for Inst. of Makers of Explosives, Wilmington.

Attwood, D., Khan, F., & Veitch, B. (2006). Occupational accident models e where have we been and where are we going? *Journal of Loss Prevention in the Process Industry*, 19, 664e682.

- Bagster D.F., and Pitblado R.M., 1991, The Estimation of Domino Incident Frequencies- An Approach. *Trans IChemE*, 69:195-199.
- Billings, J., & Copland, D. (1992). Ashton munitions explosion. Tameside: Tameside Leisure Services.
- Bonvicini, S., Ganapini, S., Spadoni, G., Cozzani, V. (2012). The description of population vulnerability in Quantitative Risk Analysis. *Risk Analysis* vol. 32, p.1576
- British Broadcasting Corporation. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/8359359.stm> Last accessed 18.12.09.
- Browning, B., & Searson, A. H. (1989). The lessons of the Thessaloniki oil terminal fire. In *International symposium on loss prevention and safety promotion*, 6 (p. 391).
- Bubbico, R., Di Cave, S., Mazzarotta, B., Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach, 2004, *J. Loss Prev. Proc. Ind.*, 17, 6, pp. 483-488.
- C. Delvosalle, Domino effects phenomena: definition, overview and classification, *European Seminar on Domino Effect*, Leuven 1996
- C.A. Cornell. "Engineering Seismic Risk Analysis". *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 58 No. 5 Oct, 1968, pp. 1583 – 1606
- CCPS (Centre for Chemical Process Safety), 2000, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Analysis*, Second Edition, American Institute of Chemical Engineers, New York.
- CCPS. *Guidelines for Analyzing and Managing the Security Vulnerabilities of Fixed Chemical Sites*, New York: AIChE, 2003.
- Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*, CCPS Publication, 1989
- Center for Process Safety of the American Institute of chemical Engineers, *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash fires, and BLEVEs*, New York: AIChE, 1994
- Chemical Safety and Hazard Investigation Board. (2007). Investigation report. Refinery explosion and fire. Report no. 2005-04-I-TX.



Chiles, J. R. (2001). *Inviting disaster, lessons from the edge of technology*. New York: HarperCollins Publishing.

Council Directive 82/501/EEC on the major-accident hazards of certain industrial activities, *Official Journal of the European Communities*, 1982, L 230, Brussels.

Council Directive 96/82/EC On the control of major accident hazards involving dangerous substances, 1996, *Official Journal of the European Community*, L 10, pp. 13-33.Brussels, 14.01.97

Cozzani V. Salzano E, 2004. The quantitative assessment of domino effects caused by overpressure- Part I: Probit models, *Journal of Hazardous Materials*, A107: 67–80.

Cozzani, V, Salzano E., 2004, Threshold values for domino effects caused by blast wave interaction with process equipment, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17(6), 437- 447.

Cozzani, V., Antonioni, G., Spadoni, G., (2006). Quantitative assessment of domino scenarios by a GIS-based software tool. *J. Loss Prev. Proc. Ind.* vol.19, p.463.

Cozzani, V., Gubinelli, G., & Salzano, E. (2006). Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events. *Journal of Hazardous Materials*, 129, 1e21.

Cozzani, V., Gubinelli, G., Antonioni, G., Spadoni, G., & Zanelli, S. (2005). The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 127, 14.

Cozzani, V., Salzano, E., (2004). The quantitative assessment of domino effect caused by overpressure. Part I: probit models. *J. Haz.Mat.* vol. 107, p.67.

Cozzani, V., Salzano, E., (2004). The quantitative assessment of domino effect caused by overpressure. Part II: case-studies. *J. Haz.Mat.* vol. 107, p.86.

Crowther, J. (1996). *Oxford advanced learner's dictionary of current English*. Oxford University Press. xivþ 1475.

D.F. Bagster, R.M. Pitblado. "The estimation of domino incident frequencies: an approach". *Process Safety Environmental Protection*. Vol. 69, 1991, pp. 196 – 199

D.J. Finney. *Probit analysis*. London: Cambridge University Press, 1971.

Darbra R.M., Palacios A., and Casal J., 2010, Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences. *Journal of Hazardous Materials*, 556-573.

Decreto Legislativo n. 334 del 17 agosto 1999 Attuazione della Direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose, G.U. 28.09.99

Decreto Ministeriale del 15 maggio 1996 Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas di petrolio liquefatto (GPL), G.U. 09.07.96.

Decreto n. 151 del 9 maggio 2001 Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante, G.U. 16.06.01

Delvosalle, C., Fievez, C., & Benjelloun, F. (1998). Development of a methodology for the identification of potential domino effects in "Seveso" industries. In *Proceedings of the 9th international symposium on loss prevention and safety promotion in the process industries*, Barcelona (pp. 1e10).

Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., Debray, B., ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries, *J. of Haz. Mat.*, 2006, Vol. 130, pp. 200-219.

Delvosalle, CH., 1996, Domino effects phenomena: Definition, Overview and Classification, *European Seminar on Domino Effects*. Leuven, Belgium, Federal Ministry of Employment, Safety Administration, Direction Chemical Risks, Brussels, Belgium, pages 5-15.

Di Padova, A., Tugnoli, A., Cozzani, V., Barbaresi, T., Tallone, F. (2011). Identification of fireproofing zones in Oil&Gas facilities by a risk-based procedure. *Journal of Hazardous Materials* vol. 191, p.83

Directive 2003/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2003 amending Council Directive 96/82/EC on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, *Official Journal of the European Union*, 2003, L 345/97, Brussels.

E. Krausmann, E. Renni, M. Campedel, V. Cozzani. "Industrial accidents triggered by lessons learned from a database analysis". *Natural Hazards* Vol. 59 No. 1 Oct, 2011, pp. 285 – 300

E. Krausmann, V. Cozzani, E. Salzano, E. Renzi. "Industrial accidents triggered by natural hazards: an emerging risk issue". *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 11 March, 2011, pp. 921 - 929

Eckhoff, R. K. (2005). *Explosion hazards in the process industries*. Austin, Texas: Gulf Publishing Company.

Egidi, D., Foraboschi, F., Spadoni, G., Amendola, A., The ARIPAR project: analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area, 1995, *Rel. Eng. and System Safety*, pp. 75-79.

Egidi, D., Foraboschi, F.P., Spadoni, G., Amendola, A., (1995). The ARIPAR project: an analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area. *Reliability Eng. System Safety* vol.49, p.75.

Eisenberg, N. A., Lynch, C. J., & Breeding, R. J. (1975). *Vulnerability model: A simulation system for assessing damage resulting from marine spills*. Rep. CG-D-136- 75. Rockville, MD: Environment Control Inc.

EPA (Environmental Protection Agency). (2001). *Giant oil rig sinks*. *Oil Drop*, 5(1),1e3.

EPA. (May 1998). *Chemical accident investigation report*. EPA-550-R-98e0034.

ESRI, 2000, *ArcView GIS 3.2a for Windows*.

F. Lees, *Loss prevention in chemical process industries*, London, Butterworth, 1996

F.I. Khan, S.A Abbasi. "An assessment of the likelihood of occurrence, and the damage potential of domino effect (chain of accidents) in a typical cluster of industries". *Journal of Loss Prevention*.Vol. 14 No. 4 July, 2001, pp. 283 - 306

F.I. Khan, S.A. Abbasi. "Models for domino effect analysis in chemical process industries". *Process Safety Progress*. Vol. 17 No. 2 Aug, 1998, pp.107 - 123

F.I.Khan, S.A.Abbasi, *Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol 12, pp.361-378 (1999)

F.I.Khan, S.A.Abbasi, *Models for domino effect analysis in chemical process industries*, *Journal of Hazardous Materials*, vol 17, pp.107-123 (1998)

Fievez, C., Delvosalle, C., & Brohez, S. (2002). A methodology and a software (DominoXL) for studying domino effects (pp. 1e15). Belgium: Major Risks Research Centre, Faculte Polytechnique de Mons.

Fontein, J. (1968). Disastrous fire at shell oil refinery at Rotterdam. *Institution of Fire Engineers Quarterly*, 28, 408.

G. Antonioni, G. Spadoni, V. Cozzani, "Application of Domino Effect Quantitative Risk Assessment to an Extended Industrial Area". *Journal of Loss Prevention in the Process Industry* Vol. 22 No. 5 Sep, 2009, pp. 463 - 477

G. Antonioni, G. Spadoni, V. Cozzani. "A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events". *Journal of Hazardous Materials* Vol. 147 No. 1 Aug, 2007, pp. 48 - 59

G. Antonioni, S. Bonvicini, G. Spadoni, V. Cozzani. "Development of a general framework for the risk assessment of Na-Tech accidents". *Reliability Engineering and Safety Systems* Vol. 94 No. 9 Sep, 2009, pp.1442 – 1450

G. Fabbrocino, I. Iervolino, F. Orlando, E. Salzano. "Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas" *Journal of Hazardous Materials* Vol. 123 No. 1-2 Aug, 2005, pp. 61 – 69

Gledhill, J, Lines, I., 1998, Development of methods to assess the significance of domino effects from major hazard sites, CR Report 183, Health and Safety Executive.

Gomez-Mares, M., Tugnoli, A., Landucci, G., Cozzani, V. (2012). Performance Assessment of Passive Fire Protection Materials. *Industrial and Engineering Chemistry Research* vol.51, p.7679

Gubinelli, G., & Cozzani, V. (2009). Assessment of Missile Hazard: Reference Fragmentation Patterns of Process Equipment. *J. Haz.Mat.*, vol.163 pp.1008-1018.

Gubinelli, G., & Cozzani, V. (2009b). Assessment of Missile Hazard: Evaluation of Fragment Number and Drag Factors. *J. Haz.Mat.*, vol.161, pp.439-449

Gubinelli, G., Zanelli, S., Cozzani, V., (2004). A simplified model for the assessment of the impact probability of fragments. *J. Haz.Mat.*, vol.116, p.175.

Guoshun, Z. (2000). Causes and lessons of five explosion accidents. *Journal of Loss Prevention Process Industries*, 13, 439e442.

HAZUS. "Earthquake Loss Estimation Methodology, National Institute of Building Science", in *Risk Management Solutions*, Menlo Park, CA. 1997.

Health & Safety Commission 1991. *Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances*, London, HMSO.

Health and Safety Executive. (1978). *Canvey: An investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island/Thurrock area*. London: HM Stationery Office.

Health and Safety Executive. (1993). *The fire at Allied Colloids Limited*. London: HM Stationery Office.

Health and Safety Executive. (1994). *The fire at Hickson and Welch Ltd*. Suffolk: HSE Books.

Holden P.L., 1988. *Assessment of missile hazards: Review of incident experience relevant to major hazard plant*. Safety and reliability directorate, Health & Safety Directorate.

IAEA, *Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*, 1993

Indian oil depot inferno kills 13. (). [presstv.ir/detail.aspx?id=110057&sectioned=351020402](http://presstv.ir/detail.aspx?id=110057&sectioned=351020402)  
Last accessed 18.12.09.

J. Gledhill, I. Lines. "Development of methods to assess the from major hazard sites, CR Report 183", in Health and Safety Executive. New York: 1998.

J.M.Leveret et al. *Methodologie d'analyse des effets domino en milieu industriel, Rapport Final*, Ministere de l'Emploi et du Travail, Belgio 1996

*Journal of Hazardous Materials*. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.12.113.

Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1998a). DOMIFECT (DOMIno eFFECT): user-friendly software for domino effect analysis. *Environmental Modeling and Software*, 13, 163e177.

Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1998b). Models for domino effect analysis in chemical process industries. *Process Safety and Progress*, 17, 107e123.

Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1999a). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industry*, 12, 361e378.

- Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1999b). The world's worst industrial accident of the 1990s: what happened and what might have been. *Process Safety Progress*, 18, 1e11.
- Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (2001a). Estimation of probabilities and likely consequences of a chain of accidents (domino effect) in Manali Industrial Complex. *Journal of Cleaner Production*, 9, 493e508.
- Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (2001b). An assessment of the likelihood of occurrence, and the damage potential of domino effect (chain of accidents) in a typical cluster of industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industry*, 14, 283e306.
- Kier, B., & Muller, G. (1983). *Handbuch Storfalle*. Berlin: Erich Schmidt.
- Kirchsteiger, C. (1999). Trends in accidents, disasters and risk sources in Europe. *Journal of Loss Prevention in the Process Industry*, 12, 7e17.
- Kletz, T. A. (1990). Lessons of another ethylene oxide explosion. *Chemical Engineering*, London, 469, 15.
- Korvers, P. M. W., & Sonnemans, P. J. M. (2008). Accidents: a discrepancy between indicators and facts! *Safety Science*, 46, 1067e1077.
- Kourniotis, S. P., Kiranoudis, C. T., & Markatos, N. C. (2000). Statistical analysis of domino chemical accidents. *Journal of Hazardous Materials*, 71, 239e252.
- Landucci, G., Gubinelli, G., Antonioni, G., Cozzani, V. (2009). The assessment of the damage probability of storage tanks in domino events. *Accident Analysis and Prevention* vol. 41, pp.1206-1215.
- Lees F.P., 2005. *Prevention in process industries*, Butterworth Heinemann,
- Lees, F. P. (2005). In S. Mannan (Ed.), *Loss prevention in the process industries* Hazard identification, assessment, and control, Vols. 1e3. Oxford: Elsevier/ Butterworth-Heinemann.
- Lees, F.P., 1996, *Loss prevention in the process industries* (2nd Edition), Butterworth-Heinemann.
- Lenoir, E. M., & Davenport, J. A. (1993). A survey of vapor cloud explosions: second update. *Process Safety Progress*, 12, 12e33.

Lewis, D. J. (1980). Unconfined vapour cloud explosions: historical perspective and predictive method based on incident record. *Progress in Energy and Combustion Science*, 6, 151.

Lewis, D. J. (1993). Case histories: Accidents. Dept of Chem. Eng., Loughborough Univ. of Technol.. Course on hazard control and major hazards.

M. Campedel, V. Cozzani, A. Garcia- Agreda, E. Salzano. "Extending the Quantitative Assessment of Industrial Risks to Earthquake Effects". *Risk Analysis* Vol. 28 No. 5 Oct, 2008, pp.1231 - 1246

Mahoney, D. G. (1990). Large property damage losses in the hydrocarbon-chemical industries: A thirty-year review (13th ed.). New York: M&M Protection Consultants.

Mansot, J. (1989). Incendie du Depot Shell du Port Edouard Herriot a' Lyon les 2 et 3 Juin 1987. In *International symposium on loss prevention safety and promotion*, 6 (p. 41).

Marhvilas P.K., Koulouriotis D. and Gemeni V, 2011. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites : On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5): 477-523.

Marshall, V. C. (1977). How lethal are explosions and toxic escapes? *Chemical Engineering*, London, 323, 573.

Marshall, V. C. (1987). *Major chemical hazards*. Chichester: Ellis Horwood.

Mébarki A., Genatios C., Lafuente M., 2008. *Risques Naturels et Technologiques : Aléas, Vulnérabilité et Fiabilité des Constructions – vers une formulation probabiliste intégrée*, Presses Ponts et Chaussées, ISBN 978-2-85978-436-2, Paris.

Mébarki A., Mercier F., Nguyen Q.B., Ami Saada R., 2009. Structural fragments and explosions in industrial facilities. Part I: Probabilistic description of the source terms, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22: 408–416.

Mébarki A., Mercier F., Nguyen Q.B., Ami Saada R., Meftah F. Reimeringer M, 2007. A probabilistic model for the vulnerability of metal plates under the impact of cylindrical projectiles. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20: 128–134.

Mébarki A., Mercier F., Nguyen Q.B., Ami Saada R., Meftah F., Reimeringer M, 2008. Reliability analysis of metallic targets under metallic rods impact: Towards a simplified probabilistic approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 21: 518– 527.

Meel, A., O’Neill, L. M., Levin, J. H., Seider, W. D., Oktem, U., & Keren, N. (2007).

MHIDAS e Major Hazard Incident Data Service. (2009).

Mingguang Z. and Juncheng J, 2008. An improved probit method for assessment of domino effect to chemical process equipment caused by overpressure. *Journal of Hazardous Materials*, 158: 280 – 286.

Ministero dell’Ambiente, 2005: <http://www.pcn.minambiente.it/pcn.default.html>.

Ministry of Social Affairs and Public Health Report. (1968). Concerning an inquiry into the cause of the explosion on 20 January 1968 at the premises of Shell

Ministry of Social Affairs report on the explosion 1976. DSM at Beek 7 November 1975. Gas explosion: naphtha cracker II. The Netherlands, Voorburg.

Mississauga News Special Edition. (1979). November 12.

Nash, J. R. (1976). *Darkest hours*. Chicago: Nelson Hall.

National Board of Fire Underwriters. (1948). *The Texas City disaster, facts and lessons*. New York.

National Transportation Safety Board annual report. (1983). Washington.

Nederland Raffinaderijin Pernis. The Hague: State Public House.

Oggero, A., Darbra, R. M., Munoz, M., Planas, E., & Casal, J. (2006). A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail. *Journal of Hazardous Materials*, 133, 1e7.

Operational risk assessment of chemical industries by exploiting accident databases. *Journal of Loss Prevention in the Process Industry*, 20, 113e127.

P.A.Davies, A guide to the evaluation of condensed phase explosions, *Jurnal of Hazardous Material*, vol 33, pp 1-33, 1993



P.A.van den Berg, A.Lannoy, Methods for vapour cloud explosion blast, Journal of Hazardous Materials, vol 34, pp.151-171 (1993)

Pasman, H. J. (2009). Learning from the past and knowledge management: are we making progress? Journal of Loss Prevention in the Process Industry, 22(6), 672e679.

Pasman, H. J., Jung, S., Prem, K., Rogers, W. J., & Yang, X. (2009). Is risk analysis a useful tool for improving process safety? Journal of Loss Prevention in the Process Industry, 22(6), 769e777.

Petrobras. (2001). Inquiry Commission P-36 accident, final report.

Planas, E., Arnaldos, J., Silvetti, B., Vallée, A., Casal, J., A Risk Severity Index for industrial plants and sites, 2006, Journal of Hazardous Material, Vol. 130, pp 242-250.

Qiao, Y., Keren, N., & Mannan, M. S. (2009). Utilization of accident databases and fuzzy sets to estimate frequency of HazMat transport accidents. Journal of Hazardous Materials, in press. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.01.097.

R.W. Clough, J. Penzien. Dynamics of Structures. New York: McGraw-Hill, 1982.

Reniers, G., Dullaert, W., & Karel, S. (2009). Domino effects within a chemical cluster: a game-theoretical modeling approach by using Nash-equilibrium.

S. Bonvicini, S. Ganapini, G. Spadoni, V. Cozzani. "The description of population vulnerability in Quantitative Risk Analysis. Risk Analysis" Vol. 32, No. 9 Feb, 2012, pp.1576 - 1594

S. Contini, S. Boy, M. Atkinson, N. Labath, M. Banca, J.P Nordvik. 1996. "Domino effect evaluation of major industrial installations: a computer aided methodological approach" Presented in: European seminar on domino effects, Leuven.[ electronic medium]. Available: <http://www.microrisk2001.gr/cozzani1.doc>

S.P.Kourniotis, C.T.Kiranoudis, N.C.Markatos, Statistical analysis of domino chemical accidents, Journal of Hazardous Materials, vol 71, pp.239-252 (2000)

Saaty, T.L., 1980,The analytic hierarchy process, Mc Graw Hill.

Safety and Environmental Protection, 85, 117e124.

Sales, J., Mushtaq, F., Christou, M. D., & Nomen, R. (2007). Study of major accidents involving chemical reactive substances analysis and lessons learned. Process

Salzano, E., Cozzani V. (2006). A fuzzy set analysis to estimate loss intensity following blast wave interaction with process equipment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industry* vol.19, pp.343-352.

Servizio Sismico Nazionale, 2001, Rischio Sismico.

Silvetti, B., Sviluppo di una metodologia per la valutazione del rischio derivante da attività industriali e calamità naturali, Tesi di dottorato in Ingegneria Chimica dell'Ambiente e della Sicurezza, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

Slater, D. H. (May 1978). Vapour clouds. *Chemical Industries*, 6, 295.

Spadoni, G., Contini, S., Uguccioni, G. (2003). The New Version of ARIPAR and the Benefits Given in Assessing and Managing Major Risks in Industrialised Areas. *Proc. Safety Env. Protection* vol.81, p.19.

Spadoni, G., Egidi, D., Contini, S. (2000). Through ARIPAR-GIS the quantified area risk analysis supports land-use planning activities. *J. Haz.Mat.* vol.71, p.423.

Strehlow, R. A. (1973). Unconfined vapour cloud explosions e an overview. *Combustion*, 14, 1189.

T. Aven "Identification of safety and security critical systems and activities". *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 94 No. 2 Feb, 2008, pp. 404 - 411

T. Aven "A unified framework for risk and vulnerability analysis covering both safety and security". *Reliability Engineering and System Safety* Vol. 92 No. 6 Jun, 2006, pp. 745 - 754

Talasilidis D.G., Manolis G.D., Paraskevopoulos E., Panagiotopoulos C., Pelekasis N. and Tsamopoulos J.A. , 2004. Risk analysis of industrial structures under extreme transient loads. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24: 435-448.

TeleAtlas B.V. 1996. Roadnet

The 100 largest losses 1972e2001, large property damage losses in the hydrocarbonchemical industries. (February 2003) (20th ed.). *Marsh's Risk Consulting Practice*.

The Council of the European Union. "Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances". *Communities*. L 10/13, Dec, 1996, 14.1.97.

Tixier, J., Dandrieux, A., Dusserre, G., Mazzarotta, B., Silvetti, B., Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project, 2006, J. of Haz. Mat., Vol. 130, pp. 251-254

U.S. Environmental Protection Agency, RMP Offsite Consequence Analysis Guidance, Washington, DC, 1996

UNEP, United Nations Environmental Programme. Awareness and preparedness for emergencies on a local level. <http://www.unep.fr/scp/sp/disaster/casestudies/iran/train-explosion.htm> Last accessed 23.07.09.

V. Cozzani, A. Tugnoli, E. Salzano. "Prevention of domino effect: from active and passive strategies to inherently safe design" Journal of Hazardous Materials. Vol. 139 No. 2 Jan, 2007, pp. 209 - 19

V. Cozzani, E. Salzano, A. Tugnoli. "The development of an inherent safety approach to the prevention of domino accidents". Accident Analysis and Prevention. Vol. 41 No. 6 Nov, 2009, pp.1216 - 1227

V. Cozzani, E. Salzano. "The quantitative assessment of domino effect caused by overpressure. Part I: probit models". Journal of Hazardous Materials. Vol. 107. No. 3 March, 2004, pp. 67 - 80

V. Cozzani, E. Salzano. "Threshold values for domino effects caused by blast wave interaction with process equipment". J. Loss Prevention in the Process Industries Vol. 17 No. 6 Nov, 2004, pp. 437 - 447

V. Cozzani, G. Antonioni, G. Spadoni. "Quantitative assessment of domino scenarios by a GISbased software tool". Journal of Loss Prevention in the Process Industry. Vol. 19 No. 5 2006, pp.463 - 477

V. Cozzani, G. Gubinelli, E. Salzano. "Escalation Thresholds in the Assessment of Domino Accidental Events" Journal of Hazardous Materials Vol. 129 No.1-3 Feb, 2006, pp. 1 – 21

V. Cozzani, G. Gubinelli, G. Antonioni, G. Spadoni, S. Zanelli. "The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis". Journal of Hazardous Materials Vol. 127 No. 1-3 Aug, 2005 pp. 14 - 30

V. Cozzani, M. Campedel, E. Renni, E. Krausmann. "Indus-events: analysis of past accidents". Journal of Hazardous Materials Vol. 175. No 1-3 Mar, 2010, pp.501 - 509

Van Der Schaaf, T., & Kanse, L. (2004). Biases in incident reporting databases: an empirical study in the chemical process industry. *Safety Science*, 42, 57e67.

Van Eijnatten, A. L. M. (1977). Explosion in a naphtha cracking unit. *Loss Prevention*, 11, 11.

Watrous, L. D. (1970). Freight train derailment and fire Crescent City, Illinois. *Fire of Journal* 10.

Wheaton, E. L. (1948). *Texas City remembers*. San Antonio: Naylor.

Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/2009\\_Viareggio\\_train\\_derailment](http://en.wikipedia.org/wiki/2009_Viareggio_train_derailment). Last accessed 23.07.09.

Wolf, A. (2006). BLEVE kills two. NFPA National Fire Protection Association. <http://www.nfpa.org/assets/files/PDF/AlbertCity.PDF>.

Woodworth, M. E. (1955). Whiting refinery fire. *NFPA Quarterly*, 49, 79.

Zenier, F., Antonello, F., Dattilo, F., & Rosa, L. (2001). Investigation of an LPG accident with different mathematical model applications. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2, 340e351.

## Riferimenti su siti Internet

<http://blog.taragana.com/n/fire-in-cracker-godown-engulfs-commercial-complexin-agra-87635/>.

<http://emars.jrc.ec.europa.eu/>.

[http://english.pravda.ru/accidents/21/97/384/9614\\_Perm.htm](http://english.pravda.ru/accidents/21/97/384/9614_Perm.htm).

<http://maricopa360.com/?p=3022>.

<http://multinationalmonitor.org/hyper/issues/1994/03/greer.html>.

<http://nation.ittefaq.com/issues/2008/12/05/news0680.htm>.

[http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle\\_east/3498851.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle_east/3498851.stm).

[http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle\\_east/7419555.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle_east/7419555.stm).

[http://news.xinhuanet.com/english/2009-07/15/content\\_11711748.htm](http://news.xinhuanet.com/english/2009-07/15/content_11711748.htm).

[http://server.kbri-islamabad.go.id/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4243&Itemid=43](http://server.kbri-islamabad.go.id/index.php?option=com_content&task=view&id=4243&Itemid=43).

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0101News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0202News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0502News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0601News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0800News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0801News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/1001News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/1100News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/1101News-MonthlyIncidents.htm>.

<http://www.asbarez.com/2009/05/14/armenian-chemical-giant-rocked-byexplosion/>.

<http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Rabaska/documents/DA53.pdf>.

[http://www.chemsafety.gov/assets/document/Praxair\\_Report.pdf](http://www.chemsafety.gov/assets/document/Praxair_Report.pdf).

<http://www.chemsafety.gov/investigations/detail.aspx?SID=80>.

[http://www.chinadaily.com.cn/english/doc/2004-04/17/content\\_324187.htm](http://www.chinadaily.com.cn/english/doc/2004-04/17/content_324187.htm).

<http://www.csb.gov/assets/document/CSBFinalReportValeroSunray.pdf>.

<http://www.dailymail.co.uk/news/worldnews/article-1165385/Brazil-infernodamages-dozens-homes-chemical-depot-explosions.html>.

[http://www.dailytimes.com.pk/default.asp?page=2009\05\10\story\\_10-5-2009\\_pg12\\_4](http://www.dailytimes.com.pk/default.asp?page=2009\05\10\story_10-5-2009_pg12_4).

<http://www.deccanchronicle.com/hyderabad/giant-blast-shakes-city-445>.

[http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/csg\\_sep\\_03\\_609513.pdf](http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/csg_sep_03_609513.pdf).

<http://www.firegeezzer.com/2009/02/01/gasoline-fire-kills-over-100-in-kenya/>.

[http://www.fireworld.com/incident\\_logs/incident\\_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=12&year=2000&submit=List](http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=12&year=2000&submit=List).

<http://www.hindu.com/2009/01/31/stories/2009013156810500.htm>.

<http://www.hindustantimes.com/StoryPage/StoryPage.aspx?sectionName=NLetter&id=015c667d-d75c-48dd-92ca-2e1792d4429a&Headline=FourpkilledpinexplosionpatpIPCLplant>.

<http://www.hse.gov.uk/comah/buncefield/bstg1.htm>.

<http://www.hse.gov.uk/comah/conocophillips.pdf>.

<http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/casetexaco94.htm>.

<http://www.independent.co.uk/news/world/americas/22-die-in-explosions-atmexico-city-nightclub-634924.html>.

[http://www.infowars.com/articles/us/texas\\_chem\\_plant\\_explosion\\_injures\\_4.htm](http://www.infowars.com/articles/us/texas_chem_plant_explosion_injures_4.htm).

<http://www.ksat.com/news/17363956/detail.html>.

<http://www.nytimes.com/2001/09/27/us/national-briefing-mid-atlanticpennsylvania-explosion-kills-worker.html>.

<http://www.reuters.com/article/marketsNews/idUSLU46602020090630>.

<http://www.safetynews.co.uk/January%202009.htm>.

<http://www.saunalahti.fi/ility/PI0918.htm>.

<http://www.saunalahti.fi/ility/PI0920.htm>.

<http://www.saunalahti.fi/ility/PI0922.htm>.

[http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/eight-killed-in-himachal-factory-fire-probe-ordered-third-lead\\_100200516.html](http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/eight-killed-in-himachal-factory-fire-probe-ordered-third-lead_100200516.html).

[http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/fertiliser-factory-unit-gutted-in-punjab-town\\_100181506.html](http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/fertiliser-factory-unit-gutted-in-punjab-town_100181506.html).

[http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/five-killed-100-injured-in-madhyapradesh-factory-blasts-lead\\_100213866.html](http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/five-killed-100-injured-in-madhyapradesh-factory-blasts-lead_100213866.html).

[http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/one-killed-12-injured-in-delhi-factory-fire\\_100201991.html](http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/one-killed-12-injured-in-delhi-factory-fire_100201991.html).

[http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/ten-workers-killed-in-faridabad-factory-fire\\_100187860.html](http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/ten-workers-killed-in-faridabad-factory-fire_100187860.html).

[http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/two-killed-in-chemical-factory-fire-in-delhi\\_100141943.html](http://www.thaindian.com/newsportal/uncategorized/two-killed-in-chemical-factory-fire-in-delhi_100141943.html).

<http://www.thedailystar.net/newDesign/news-details.php?nid=92941>.

<http://www.thehindubusinessline.com/2004/11/02/stories/2004110202770200.htm>.

<http://www.topnews.in/explosion-leaves-16-dead-six-missing-china-chemical-plant-262079>.

<http://www.tribuneindia.com/2006/20060831/delhi.htm>.

<http://www.unep.fr/scp/sp/disaster/casestudies/france/>.

<http://www.unep.fr/scp/sp/disaster/casestudies/iran/>.

<http://www.unep.fr/scp/sp/disaster/casestudies/iran/train-explosion.htm>.

<http://www.wkowitz.com/global/story.asp?s=10344060>.

[http://www3.whdh.com/news/articles/national/BO113506/Indian-oil-depot-inferno-kills-13-\(\).presstv.ir/detail.aspx?id=110057&sectioned=351020402](http://www3.whdh.com/news/articles/national/BO113506/Indian-oil-depot-inferno-kills-13-().presstv.ir/detail.aspx?id=110057&sectioned=351020402) Last accessed 18.12.09.

## *Allegati*

### *I casi dovuti a rischi incidenti rilevanti*

I casi che rappresentano la storia degli incidenti rilevanti, sono 224 al 2009:

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
1.	1917	Ashton, UK	Explosives factory/nitrator	Spillage of hot HNO <sub>3</sub> →F→MaE→F	46	>120	Some 100 houses demolished	Billings & Copland, 1992
2.	1917	Novo Scotia, Canada	Ammunition ship	Collision with another ship→F→MaE	1800	8000	500 Totally blinded; massive property damage	Assheton, 1930
3.	1933	Neunkirchen, Germany	Gasholder towns gas	MiE→rupture of pipeline→F→MaE	65	‘Several hundred		Kier & Muller, 1983
4.	1936	Saint Chamas, France	TNT production unit TNT	F→MaE	53	150		MHIDAS, 2009
5.	1943	Ludwigshafen, Germany	BASF works-rail tank car	Leak→VC→MaE	57	439		Marshall, 1987; Nash, 1976
6.	1944	Cleveland, USA	Liquefaction plant LNG	Tank rupture & leak→F→series of MaE	128	200-400	Severe damage to the plant and property	Marshall, 1987; Nash, 1976
7.	1947	Texas, USA	Ship/ ammonium nitrate	F→MaE→MaE	552	>3000	More than 3300 dwellings and 130 business building damaged, 600 automobile and 360 box car damaged, several storage tanks destroyed	Marshall, 1987; Nash, 1976; National Board of Fire Underwriters, 1948; Wheaton, 1948
8.	1948	Ludwigshafen, Germany	Tank car/dimethyl ether	Tank rupture & dispersion of contents→VC	207	3818		Lewis, 1993; Marshall, 1987
9.	1949	Perth Amboy, USA	Asphalt tank	MaE→F	4			MHIDAS, 2009



No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
10.	1951	Port Newark, USA	LPG storage/propane	F→MiE several BLEVEs	0	14	73 Bullet tanks were destroyed, missiles demolished a filling station and ruptured underground water main	Lewis, 1993
11.	1951	Baton Rouge, USA	Refinery/naphtha	VCE→multiple explosions	2		6.5 Million property damage	Lenoir & Davenport, 1993
12.	1952	Bound Brook, USA	Phenolic resin plant/phenolic resin powder	Powder Smouldering due to overheating →MaE→MaE→MaE	5	21		Lewis, 1993
13.	1953	Campana, Argentina	Refinery/recovery unit/gasoline	VCE→three explosions	2			Lenoir & Davenport, 1993
14.	1953	Miami, USA	Storage unit→LPG	F→F				MHIDAS, 2009
15.	1954	Lake Port, USA	Storage area/LPG	MiE→MaE	4			MHIDAS, 2009
16.	1955	Whiting, USA	Refinery/ hydroformer unit/naphtha	MaE→F	2	40		Lenoir & Davenport, 1993; Lewis, 1993; Mahoney, 1990; Woodworth, 1955
17.	1957	Montreal, Canada	Storage tanks/butane	VC→F→3 BLEVEs	1		3 Storage tanks damaged	Kier & Muller, 1983
18.	1957	Meraux, USA	Storage tank/diesel oil	Tank collapse→severe fire	1			MHIDAS, 2009
19.	1958	Boron, USA	Tank truck/LPG	F→MaEs	1			MHIDAS, 2009
20.	1958	Signal Hill, USA	Refinery/visbreaker Plant/oil	Tank eruption→F	2	18		Lewis, 1993; Woodworth, 1955
21.	1959	Deer Lake, USA	Road tanker/LPG	LPG leak and ignition →F→BLEVE	11	10		Kier & Muller, 1983
22.	1959	Mac Kittrick, USA	Storage area/LPG	MiE→BLEVE		2		MHIDAS, 2009
23.	1960	Bakersfield, USA	Storage tank/caustic	MiE→F				MHIDAS, 2009
24.	1961	Perry, USA	Tank truck/LPG	F→MaEs				MHIDAS, 2009
25.	1962	Pampa, USA	Refinery/isopentane	MiE→F		1		MHIDAS, 2009
26.	1962	Doe Run, USA	Ethanolamine plant/ethylene oxide	Internal explosion due to runaway→VC	1	21		Lewis, 1993; Mahoney, 1990
27.	1962	Marietta, USA	Phenol production plant/benzene	Discharge of benzene through relief valve	1	3		Mahoney, 1990

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
				→VC damage pipework→F				
28.	1962	Ibbenburen, Germany	Pipeline/hydrogen	MiE→F and toxic release		1		MHIDAS, 2009
29.	1963	Evanston, USA	Warehouse/methanol	F→Toxic release		1		MHIDAS, 2009
30.	1964	Attleboro, USA	Vinyl chloride polymerization plant/vinyl chloride	Leak→E→MaE	7	40		Lewis, 1993; Mahoney, 1990
31.	1964	Niigata, Japan	Refinery/oil	Oil spillage F→E→F	2		97Storage tanks destroyed	Mahoney, 1990
32.	1964	Liberal, USA	Compressor station/propane	VCE→multiple explosions			0.5 Million property damage	Lenoir, 1993
33.	1965	Louisville, USA	Neoprene plant/mono vinyl acetylene	Decomposition of mono vinyl acetylene due to overheating→MaEs	12	8		Lewis, 1993; Mahoney, 1990
34.	1965	Carthage, USA	Process plant/oil	F→MaE and F				MHIDAS, 2009
35.	1966	Feyzin, France	Refinery storage Tanks/propane	Propane leak→F→MaE	18	81	Five spheres destructed	Lewis, 1993; Mahoney, 1990
36.	1967	Lake Charles, USA	Refinery/iso butane	MaE→major F	7	13		Health and Safety Executive, 1978; Marshall, 1977
37.	1968	Romford, UK	Naphtha (jet)	F→F				MHIDAS, 2009
38.	1968	Milford Haven, UK	Refinery/hydrocarbons	MiE→F				MHIDAS, 2009
39.	1968	Port Arthur, USA	Storage tank/petrol	MiE→F	3	5		MHIDAS, 2009
40.	1968	Pernis, Netherlands	Refinery/hydrocarbon vapour	Overflow lead to VC→MaE→F	2	85		Fontein, 1968; Lewis, 1993; MSAPH report, 1968
41.	1968	Leverkusen, Germany	Formamidinesulphonic acid plant/urea	F→MaE	1	14		MHIDAS, 2009
42.	1969	Dormagen, Germany	Ethylene oxide plant/ethylene oxide	MaE→MaE	1	40		MHIDAS, 2009
43.	1969	Glendora, USA	Rail tank car/vinyl chloride	Tank derailment and leak→series of Fs and Es		1		Kier & Muller, 1983; Slater, 1978
44.	1969	Laurel, USA	LPG tank cars/LPG	Tank derailment lead to serial tank explosions and fireballs 2 >33 Structural damage within 400 ft. Almost all glasses were shattered within half a				Eisenberg, Lynch, & Breeding, 1975; Lenoir & Davenport, 1993

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
				mile				
45.	1969	Répcelak, Hungary	Carbonic acid/storage/purified CO <sub>2</sub>	MaE→MaEs 9 15				Chiles, 2001
46.	1969	Round Brook, USA	Reactor/nitrophenol	MiE→MaE1 1				MHIDAS, 2009
47.	1969	. Geary, USA	Rail tank car/butane	F→BLEVE				MHIDAS, 2009
48.	1969	Long Beach, USA	Tank/petrol	F→MaE	1	83		MHIDAS, 2009
49.	1969	Texas City, USA	Petrochemical/butadiene	Detonation→VCE	3		30 Million property damage	Lenoir & Davenport, 1993
50.	1970	Beaumont, USA	Oil slope tank/oil	Tank failure and oil spillage→ F→F in other			16 tanks nearby	Mahoney, 1990
51.	1970	Crescent, USA	Rail tank car/propane	Propane leak→ F→serial MaEs		66		Lewis, 1993; Strehlow, 1973; Watrous, 1970
52.	1970	Ludwigshafen, Germany	Transportation/propylene	VCE→F and MaE	5	3	2 Barge caught fire and sunk	MHIDAS, 2009
53.	1970	Big springs, USA	Refinery/alkylation/hydrocarbon vapors	VCE→MaE			Property damage worth \$9.7 million	Lenoir & Davenport, 1993
54.	1970	Linden, USA	Refinery/Hydrocracking/oil	Physical explosion →VCE and fire			Property damage worth \$ 87.6 million	Lenoir & Davenport, 1993
55.	1971	Baton Rouge, USA	Road tanker/ethylene	Physical E→F		21		MHIDAS, 2009
56.	1971	Houston, USA	Rail tank car/vinyl chloride monomer	Tank derailment and punctured →serial tank explosions and fires	1	5		Eisenberg et al., 1975; Lewis, 1980
57.	1971	Longview, USA	Polyethylene Plant/ethylene	Gas pipe broke→ VC→rupture of other ethylene pipelines→VCs	4	60		Eisenberg et al.,1975; Lewis, 1980
58.	1972	Yokkaichi, Japan	Rubber plant/waste water treatment unit/waste water	MiE→F and reactor rupture				MHIDAS, 2009
59.	1972	Rio de Janeiro, Brazil	Refinery/storage area/LPG	MiE→BLEVE 37 53				Mahoney, 1990
60.	1972	Duque de Caxias, Brazil	Storage tank/LPG	VCE→BLEVE →series of explosions	39	51		MHIDAS, 2009
61.	1973	Kingman, USA	Rail tank car/propane (Jet)	F→BLEVE and fireball		13	More than90	Marshall, 1987
62.	1974	Climax, USA	Rail tank car/vinyl chloride monomer	Tank derailment and VCM leak→				Eisenberg et al.,1975

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
				VC→F→BLEVE				
63.	1974	Beaumont, USA	Hydrocarbons	VCE→F and MaE	2	10		MHIDAS, 2009
64.	1974	Petal, USA	Terminal/salt dome storage/butane	MiE→MaE			Glass breakage up to 11 km	Lenoir & Davenport, 1993
65.	1975	Eagle Pass, USA	Transportation/LPG	VCE→fire and another VCE	17			Lenoir & Davenport, 1993
66.	1975	Philadelphia, USA	Storage area→Fuel oil	Overfilling→VCE→major F				MHIDAS, 2009
67.	1975	Beek, Netherlands	Ethylene plant/propylene	VC→F (numerous fires)	14	104	Damage in a radius of 4.5 km, 6 tanks burned, control room demolished	Lewis, 1980; MSARE, 1976; Van Eijnatten, 1977
68.	1975	Avon, USA	Coking unit/drum/crude oil	F→F				MHIDAS, 2009
69.	1976	Geismar, USA	Petrochemical plant/polyglycol ether reactor/ethylene oxide and propylene oxide	MaE→major F				Mahoney, 1990
70.	1976	Baton Rouge, USA	Chemical plant/natural gas	MaE→toxic release				MHIDAS, 2009
71.	1976	Addyston, USA	Storage area/methanol	MaE→F				MHIDAS, 2009
72.	1976	Guayaquil, Ecuador	Tanker/LNG	VCE→series of explosions		>50		MHIDAS, 2009
73.	1977	Puebla, Mexico	Storage bullets/vinyl chloride monomer	VCM leakage →VCF→4 BLEVEs	13			Lewis, 1993.
74.	1977	Westwego, USA	Grain silo/grain dust	MaE→MaE→MaE	36	10		Lewis, 1993
75.	1977	Galveston, USA	Grain silo/grain dust	MaE→MaE→MaE		15		Kier & Muller, 1983; Marshall, 1987
76.	1977	Romeoville, USA	Refinery/storage area/diesel fuel	F→F				MHIDAS, 2009
77.	1978	Abqaiq, Saudi Arabia	Gas processing unit/methane Gas leak due to internal corrosion	→VC→(a pipe section struck a LPG spherical tank→release & VCE)				Mahoney, 1990
78.	1978	Texas, USA	LPG storage tanks/LPG	Crack due to internal overpressure led to LPG leak →F→BLEVE	7	10		Mahoney, 1990
79.	1979	Pittsfield Township, USA	Road tanker/propane	Leakage→ series of explosion				MHIDAS, 2009
80.	1979	Mississauga, Canada	Rail tank car/propane, etc	Tanks derailment and F→BLEVEs and toxic release				Amyot, 1980; Lewis, 1993; Mississauga, 1979
81.	1979	Tacoma, USA	Hydrogen compression	MaE→toxic release		3		MHIDAS, 2009

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
	9	USA	system/hydrogen					
82.	1979	Ras Tanura, Saudi Arabia	Refinery/storage tank/petrol	MaE→F	2	6		MHIDAS, 2009
83.	1979	Priolo, Italy	Plastic plant/cumene	F→F 1				MHIDAS, 2009
84.	1979	Milligan, USA	Train of tank cars containing ammonia, acetone, chlorine, etc	Derailment →MaEs→F→Tox		14	4500 People evacuated; damage worth \$ 1.26 million	MHIDAS, 2009
85.	1980	Deer Park, USA	Ship/vacuum distillate	MaE→F	3	12		MHIDAS, 2009
86.	1980	Bienville, France	Chemical storage depot/resins, acetates, solvents	MiE→F				MHIDAS, 2009
87.	1980	Borger, Texas, USA	Refinery/alkylation unit/light HCs	Vessel rupture and HC release→VC			41 Blast destroyed the alkylation unit, whole refinery shutdown	Lewis, 1993; Mahoney, 1990
88.	1980	Salina Cruz, Mexico	Storage tank/oil	Lightening →F→F				MHIDAS, 2009
89.	1980	Deer Park, USA	Phenol plant/cumene	F→F				MHIDAS, 2009
90.	1981	South Hutchinson, USA	Railcar/ammonia	F→MaE			500 People evacuated	MHIDAS, 2009
91.	1981	Montana, Mexico, USA	Rail tank car/chlorine	Tanks derailment →MaEs	17	1000		Marshall, 1987
92.	1981	West Glamorgan, UK	Refinery/propane	MiE→MaE				MHIDAS, 2009
93.	1982	Livingston, USA	Freight train/ petrochemical products	Tank derailment→several explosions				NTSB annual report, 1983
94.	1982	Philadelphia, USA	Storage tank/cumene	MaE→F				MHIDAS, 2009
95.	1982	Houston, USA	Tank truck/propane	F→F		3		MHIDAS, 2009
96.	1982	Caracas, Venezuela	Electricity company/ storage/oil	E→F→boilover	150	>500		Lewis, 1993; Mahoney, 1990
97.	1983	Milford Haven, UK	Refinery/storage tank/ crude oil	F→2 boilovers		20		Lewis, 1993; Mahoney, 1990
98.	1983	Houston, USA	Chemical plant/methyl bromide	Physical E→ toxic release	2	Several	2 Blocks were evacuated	MHIDAS, 2009
99.	1983	Port Neches, USA	Ship/diesel fuel	F→MaEs				MHIDAS, 2009
100.	1983	Dursley, UK	Diesel engine production plant	F→toxic release		5	Hundreds of people evacuated	MHIDAS, 2009

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
101	1983	Baton Rouge, USA	Plastic plant/vinyl chloride monomer	MaE→F		2	1500 People evacuated	MHIDAS, 2009
102	1983	Swindon, UK	Process plant/resin	F→MaE				MHIDAS, 2009
103	1983	Dalhousie, Canada	Electrolysis plant	MiE→toxic release				MHIDAS, 2009
104	1983	Newark, USA	Storage area/unleaded gasoline	Tank overfilling→MiEs→MaE				PressTV, 2009
105	1984	Las Piedras, Venezuela	Refinery/hydrogen plant/oil	Oil line fractured →F→F (jet fire of a gas pipe)				Mahoney, 1990
106	1984	Mexico city, Mexico	Storage tanks/LPG	Line rupture and LPG leak →VC→F→BLEVEs	650	6400	Severe damage to nearby houses, \$ 31 million damage	Lewis, 1993; Mahoney, 1990
107	1984	Romeoville, USA	Refinery/absorption column/propane, butane	Column crack →VC→MaE	17	31	Damage to electrical power supply system and fire extinguishing systems	Lewis, 1993; Mahoney, 1990
108	1985	Bombay, India	Port warehouse/chemicals	Chain of explosions→major F			Entire storage complex devastated, a barge caught fire due to flying missiles	MHIDAS, 2009
109	1985	San Antonio, USA	Storage tank/ammonia	MaE→toxic release	4	23	20 People evacuated	MHIDAS, 2009
110	1985	Priolo, Italy	Ethylene plant/deethanizer column/ethylene	Relief system operated→ethylene discharge →F→MaE →tank collapse and more MaEs				Mahoney, 1990
111	1985	Naples, Italy	Transportation/oil	MaE→F	4	170		MHIDAS, 2009
112	1985	Algeciras, Spain	Ship/naphtha	MaE→MaE				MHIDAS, 2009
113	1985	Naples, Italy	Petroleum terminal/oil	Tank overfilling→VC/→major F	4	170		MHIDAS, 2009
114	1986	Petal, USA	Pipeline/LPG	MiE→MaE and fireball e		12	Residents in 2 mile radius evacuated	MHIDAS, 2009
115	1986	Thessaloniki, Greece	Oil terminal/oils	Oil spillage and F→several Fs				Browning & Searson, 1989
116	1986	Antwerp, Belgium	Ethylene oxide	EO decomposition and		14		Lenoir &

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
.	7	Belgium	plant/distillation column/ethylene oxide	internal explosion →F				Davenport, 1993
117	1987	Port Herriot, France	Storage tanks/oil	Oil spray and flash→F→MaEs	2	8		Mansot, 1989
118	1987	Genoa, Italy	Storage facility/ methanol and hexane	F→MaEs	4	1	60 Families and local school evacuated	MHIDAS, 2009
119	1987	Ciudad Madero, Mexico	Refinery/gasoline	MiE→F			3000 Residents evacuated	MHIDAS, 2009
120	1987	Pampa, USA	Petrochemical/ acetic acid plant/ butane	Detonation /VCE 3			Property damage worth \$ 210 million	Lenoir & Davenport, 1993
121	1988	Perth Amboy, USA	Road tanker/ hexane	F→F	1	e		MHIDAS, 2009
122	1988	Bombay, India	Storage tank/ benzene	MiE→F	35	16		MHIDAS, 2009
123	1988	Kings Ripton, UK	Storage/LPG	F→BLEVE				MHIDAS, 2009
124	1988	Brisbane, Australia	Chemical factory/ detergent	MiE/toxic release		30		MHIDAS, 2009
125	1989	Antwerp, Belgium	Ethylene oxide plant/ distillation column/ethylene oxide	Internal explosion /pipework fractured and flame flashed back to another column/internal explosion		5		Kletz, 1990; Mahoney, 1990
126	1989	Pasadena, USA	Polyethylene plant/HCs	Hydrocarbon vapour release/VC/MaEs (a storage tank and a reactor)	24	>130		Lewis, 1993; Mahoney, 1990
127	1989	Jonova, Lithuania	Ammonia storage/ ammonia	Ammonia tank rupture→Fs and toxic dispersion	7	57	32,000 Person Evacuated	Andersson, 1991; Kletz, 1990
128	1989	Al Hillah, Iraq	Transportation/ explosives	MaE→F	19			MHIDAS, 2009
129	1989	Baton Rouge, USA	Refinery/ethane and propane	MiE→F				Mahoney, 1990
130	1990	Stanlow, UK	1. Batch reactor/ chemical mixture (Jet)	F→MaE and fireball	1	5		Lewis, 1993
131	1990	Sydney, Australia	LPG terminal/LPG	Gas Leak→F→BLEVEs				MHIDAS, 2009
132	1990	St. Peters, Australia	Gas depot/LPG	MaE→Fireball/MiEs				MHIDAS, 2009
133	1991	Coatzacoalcos, Mexico	Petrochemical complex/vinyl chloride plant	MiE/MaE				Mahoney, 1990
134	1992	La Mede, France	Refinery/hydrocracker unit/hydrocarbon and hydrogen	MaE→F and MiEs			US\$ 180,000,000	The 100 Largest Losses, 2003
135	1992	Bradford, UK	Chemical warehouse/	MiE→Fs		33	Significant	Health and Safety

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
.	2		azodiisobutyronitrile AZDN containers ruptured/				air and water pollution	Executive, 1993
136	1992	Castleford, UK	Chemicals Jet	F→Fs			Extensive property damage	Health and Safety Executive, 1994
137	1993	Ringaskiddy, Ireland	Pharmaceutical facility MaE→large F			32		Multinational Monitor, 2009
138	1993	Shenzhen, China	Warehouse/ ammonium nitrate	MaE→MaE	15	141		Guoshun, 2000
139	1993	Jacksonville, USA	Petroleum terminal/ unleaded gasoline	F→tank overflow /several pool fires	1			Emars, 2009
140	1994	Bel Pre, USA	Petroleum plant/ thermoplastic rubber product MiE→F→MaE				Two buildings and a tank farm caught fire	Health and Safety Executive, 1993
141	1994	Milford Haven, USA	Texaco refinery/HCs	Pipe failure/ hydrocarbon release/MaE→Fs→Fla re relief damage→F		26	£ 48 Million damage	HSE, 2009
142	1994	Sioux City, USA	Ammonium nitrate plant/nitric acid	MaE→toxic release	5	18	2500 People evacuated	MHIDAS, 2009
143	1994	New Delhi, India	Transportation/ nitrocellulose	MaE→major F	8	2		MHIDAS, 2009
144	1994	Ueda, Japan	Storage tank/ gasoline	MaE→MaE	1	3	70 Residents evacuated	MHIDAS, 2009
145	1995	Kucove, Albania	Storage tank/ crude oil	F→MaE	1	4		MHIDAS, 2009
146	1995	Volgograd, Russia	Rail tanker/ propane	F→MaE				MHIDAS, 2009
147	1995	Savannah, USA	Chemical storage & transfer facility	F→toxic release			Nearby town evacuated, environmen tal impact (fish kill)	EPA, 1998
148	1996	Paese, Italy	LPG loading terminal/LPG	Flash fire/explosion and pool fire/BLEVEs →Fireballs				Zenier, Antonello, Dattilo, & Rosa, 2001
149	1996	Martinez, USA	Hydrogen plant/hydrogen	MiE→F				2 MHIDAS, 2009
150	1997	Burnside, USA	Grain dryer/LPG	F→BLEVE	2	2		Abbasi and Abbasi, 2007 <sup>a</sup>
151	1997	Visakhapatna m, India	HPCL refinery/LPG	Tank F→MaE → MaE and Fs		60	\$20 Million damage	Khan & Abbasi, 1999a, 1999b
152	1997	Magdalla, India	Transportation/ ethylene chloride and sulphur	F→major F				MHIDAS, 2009
153	1997	Zamboanga, Philippines	Transportation/hydrocar bons	F→MiE → Fs	1	6		MHIDAS, 2009
154	1998	Albert City, USA	Turkey farm/propane	Vehicle struck pipeline →F→BLEVE	2	7		Wolf, 2006



No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
155	1998	Longford Victoria, Australia	Gas processing plant/ heat exchanger/ hydrocarbon	VCE/major F	2	8		The 100 Largest Losses, 2003
156	1999	Laem Chabang, Thailand	Refinery/tank farm/gasoline	Tank overfilling /VCE→F	7	18	4000 Residents had to be evacuated	PressTV2009
157	2000	Mexico City, Mexico	Gas plant/ natural gas	F→series of explosions		22		Independent, 2009
158	2000	Gloucester, UK	Waste transfer station	F→MaEs		9		Environment-Agency, 2009
159	2000	Douglas, USA	Oil field service company/propane Propane leak/ series of explosions (a tank BLEVEs)					Fireworld, 2009
160	2000	Texas, USA	Tanker truck/ propane	MiE/MaE	2	1	Evacuated 200 residents	Acusafe, 2009
161	2000	Ontario, USA	Water treatment plant/corrosive gases	F→series of explosions			Several nearby companies were evacuated	Acusafe, 2009
162	2001	Ohio, USA	Chemical plant	Chemicals overheated → series of explosions		17		Acusafe, 2009
163	2001	Pennsylvania, USA	Dynamite plant/ dynamite and fireworks	MaE→MaEs 1 3 200			Residents evacuated	Acusafe, 2009
164	2001	Louisiana, USA	Refinery/turbine fuel	Leak → explosion → F		2		Acusafe, 2009
165	2001	Roncador, Brazil	Offshore platform/ drain tank/mixture of water and hydrocarbons	E/E and platform flooding	10		USD 515,000,000 damage	The 100 Largest Losses, 2003
166	2001	Nevada, USA	Chemical plant	F→a series of explosions		5		Acusafe, 2009
167	2001	Michigan, USA	Pressed board manufacturing plant/wood chips	F→MaE		9		Acusafe, 2009
168	2001	Gastonia, USA	Electroplating complex	F→series of explosions			\$ 1 Million damages	Acusafe, 2009
169	2001	Delaware, USA	Refinery/sulfuric acid	F→acid spill → releasing a cloud of toxic gas	1	8		Acusafe, 2009
170	2001	Pennsylvania, USA	Dynamite and fireworks plants	MaE→series of explosion	1	3	200 People evacuated	NYtimes, 2009
171	2001	Dayton, USA	Chemical & polymer company	Refrigeration system failed → overheating of chemicals → series of explosions				Acusafe, 2009
172	2001	Toulouse, France	Petrochemical plant/ammonium nitrate warehouse	MaE→MaE		30	More than 5000 V 2.3 Billion	UNEP, 2009
173	2001	Conocophilli	Refinery/deethanizer	Pipe rupture and				HSE, 2009

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
174	2001	Humber Refinery, UK	overhead pipe/mixture of ethane, propane, butane	hydrocarbon release/VC/other pipe ruptures→Fireball				
174	2001	Rio de Janeiro offshore, Brazil	Oil platform/HCs	Tank rupture due to overpressure/ damage to various equipment/gas dispersion→F→MaE		12	The platform sank into the water	Petrobras, 2001; EPA, 2001
175	2001	Mexico City, Mexico	Dye factory/alcohol and methanol	F→MAEs		17	More than 5000 people evacuated	Acusafe, 2009
176	2002	Mississippi, USA	Rubber plant/dryer/ powdered rubber	F→MaE	4	8		Acusafe, 2009
177	2002	Kuwait	Oil producing plant/ rude oil	Leak → MaE→F	4			Acusafe, 2009
178	2002	Austin, USA	Food processing plant	MiEs/MaE		5		Fireworld, 2009
179	2003	Perm Region, Russia	Rail tank car/ propanebutane blend	MaE→series of explosions	1			Pravda, 2009
180	2004	Skikda, Algeria	LNG plant/boiler VC/MiE/MaE		27	74	7 People missing, nearby electricity generation plant & oil refinery shutdown	Bape, 2009
181	2004	Chongqing, China	Chemical plant/ chlorine	Chlorine gas leak/ MaEs/chlorine dispersion	9	3	150000 people evacuated	Chinadaily,2009
182	2004	Vadodra, India	Oil refinery/ slurry reactor	MaE→F	2	16		Thehindubusinessline, 2009
183	2004	Zahedan, Iran	Truck/gasoline Truck lost control hit a bus→F→ other lorry fire		90	114		UNEP, 2009
184	2004	Neyshabur, Iran	Rail tank car/variety of chemicals: sulphur, gasoline, fertilizers, cotton wool	Tank derailment →F→MaE	328	460		BBC, 2009; UNEP, 2009
185	2005	Texas City, USA	BP refinery/ isomerization unit/hydrocarbons	VC/MaE→Fs	15	180	More than 1 billion dollar damage	Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2007
186	2005	Buncefield, UK	Oil storage terminal/ motor fuel	Tank overfilling /VC/MaE→F	0	60		HSE, 2009
187	2005	St. Louis, USA	Gas repacking & distribution facility/ propylene	F→MaEs and Fs	1			Chemsafety, 2009
188	2005	Fort Worth, USA	Solvent & other chemicals	F→MiE /other fires	0	4		Infowars, 2009
189	2005	Valero	Refinery/propane	Propane leak→F→				CSB, 2009

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
190	2007	McKee Refinery, USA	deasphalting unit/propane	pipe rack collapse/ other pipe rupture and chlorine release				
190	2008	Shazand, Iran	Chemical plant/2-ethylhexanol	MaE→MaEs→F	30	38	90% Plant destroyed, up to 300 m glasses were shattered	BBC, 2009
191	2008	Maricopa, USA	Grain silo/grain	MaE→MaEs→F				Maricopa360, 2009
192	2008	Nagothane, India	Polymer plant/LLDPE unit/ cyclone filter	MiE/MaE	4	46		Hindustantimes, 2009
193	2008	Yizhou City, China	Polyvinyl acetate & other chemicals	F→Es→Fs	16	57	11,500 people evacuated	Topnews, 2009
194	2008	Lalbagh, Bangladesh	Polymer	F→Fs	6	6	Fifty houses gutted	Ittefaq, 2009
195	2008	San Antonio, USA	Atlas pallet	F→MaE→F				Ksat, 2009
196	2008	Torkham, Pakistan	Oil tankers	MaE→MaE→Fs/MaE		60	Forty oil tankers destroyed	Kbri, 2009
197	2008	Toronto, Canada	Sunrise propane industrial gases MaE→MaE→F Evacuation of an area of 1.6 km radius; clean up costs \$ 1.5 million	2 54				MHIDAS, 2009
198	2009	Sao Paulo, Brazil	Chemical depot	F→MaEs→F		10	Dozens evacuated'; major property loss	Dailymail, 2009
199	2009	Yerevan, Armenia	Synthetic rubber factory	F→MaE→MaE→F	3	24	One person unaccounted; massive property damage	Asbarez, 2009
200	2009	Ambegaon, India	Chemical plant	F→MaEs		1		Saunalahti, 2009
201	2009	Badami Bagh, Pakistan	Chemical depot/sulphur, sulfuric acid, potassium permanganate, and industrial and textile chemicals	F→several Fs and MaEs		>12	Severe damage to neighboring houses and facilities	Saunalahti, 2009
202	2009	Delhi, India	Paint factory	E→F 1 12			Fire spread to the nearby buildings causing heavy damage	Thaindian, 2009
203	2009	Delhi, India	Chemical factory	E→F		2		Thaindian, 2009

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
204	2009	Faridabad, India	Footwear industry/ material involved was a highly flammable mixture of chemicals used for making shoes and rubber	E→F	10	5	More people missing	Thaindian, 2009
205	2009	Himachal Pradesh, India	Air-conditioning manufacturing company	F→E check	8	19		Thaindian, 2009
206	2009	Punjab, India	Fertilizer factory	F→ MiE			2 Losses incurred due to the accident is estimated to be between Rs 80 and 100 million	Thaindian, 2009
207	2009	Madhya Pradesh, India	Ideal Explosives Limited and Rajasthan Explosives Pvt. Ltd.	MaE→caused → MaE in nearby plant	10	>100	The explosions caused damage to at least 15 nearby plants	Thaindian, 2009
208	2009	West Carrollton, USA	Veolia Environmental Sciences	Leak/E→F		2	20 Residences damaged	Chemsafety, 2009
209	2009	Viareggio, Italy	Freight train/LPG	MaE→2MaEs→F	15	>50	1000 Residents evacuated, over 100 rendered homeless	Reuters, 2009
210	2009	Dunkirk, France	Refinery	E→F 1 5 14			People shocked by the incident needed psychiatric support.	Safetynews, 2009
211	2009	Hyderabad, India	Chemical solvent extraction factory	E→F→leak	2	2		Hindu, 2009
212	2009	Molo, Kenya	Gasoline tanker Tanker overturned /Leak→Fireball 111 >200					Firegeezzer, 2009
213	2009	Hyderabad, India	Drug intermediates manufacturing company.	MaE→F		2	Shockwaves due to the explosion were felt even 10 km away	Deccanchronicle, 2009
214	2009	Saravli, India	Chemical dyeing plant	E→F	2	4		Saunalahti, 2009
215	2009	Karachi, Pakistan	Chipboard making factory	E→F	3	5		Dailytimes, 2009

No.	Year	Location	Plant/unit/chemical	Sequence of accidents	Deaths	Injuries	Other reported impacts	Reference
216	2009	Pawane, India	Darshan Chemicals	F→Fs/Es	2	9		Saunalahti, 2009
217	2009	Columbus, US	Columbus chemical industries	F→Es		3		Wkowitz, 2009
218	2009	La Mesa, US	Saltwater disposal factory	Lightning bolt →F→Fs/E		1		Whdh, 2009
219	2009	Okhla, India	Foam manufacturing factory	F→Fs/E	1	8	The entire factory was destroyed	Tribuneindia, 2009
220	2009	Gazipur Bangladesh	Blade making factory/LPG	E→Fs	3	15		TheDailyStar, 2009
221	2009	Agra, India	Firecracker Godown in a commercial complex	F→MiEs→F			The fire spread to nearby shops, gutting some of them	Taragana, 2009
222	2009	Yanshi City, China	Luoran Co. Ltd/ chemical dye production	F→E→Fs		5	>108 Residents within a 1 km radius were evacuated	Xinhuanet, 2009
223	2009	Ulyanovsk, Russia	Army depot/ammunition	E/MaEs and Fs	2	More than 10	3000 People were evacuated	BBC, 2009
224	2009	Jaipur, India	Petroleum products	F→VCE → several pool fires with explosions	13	>200	500,000 Evacuated; property loss worth \$40 million	PressTV, 2009
225								

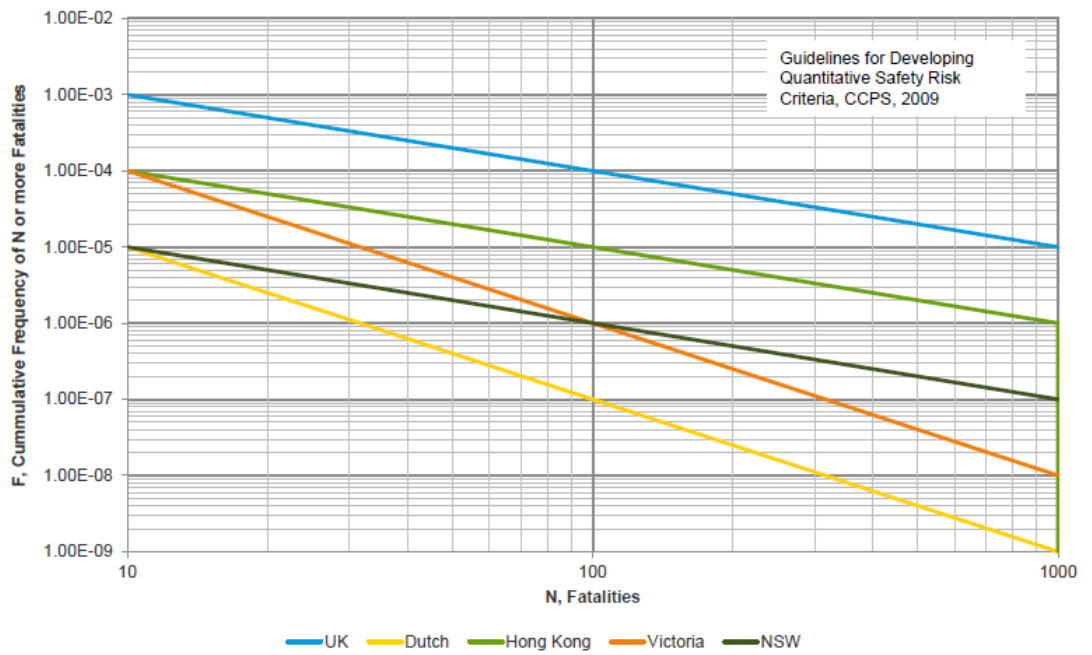


Figura 52 - Rischio Sociale nei vari paesi

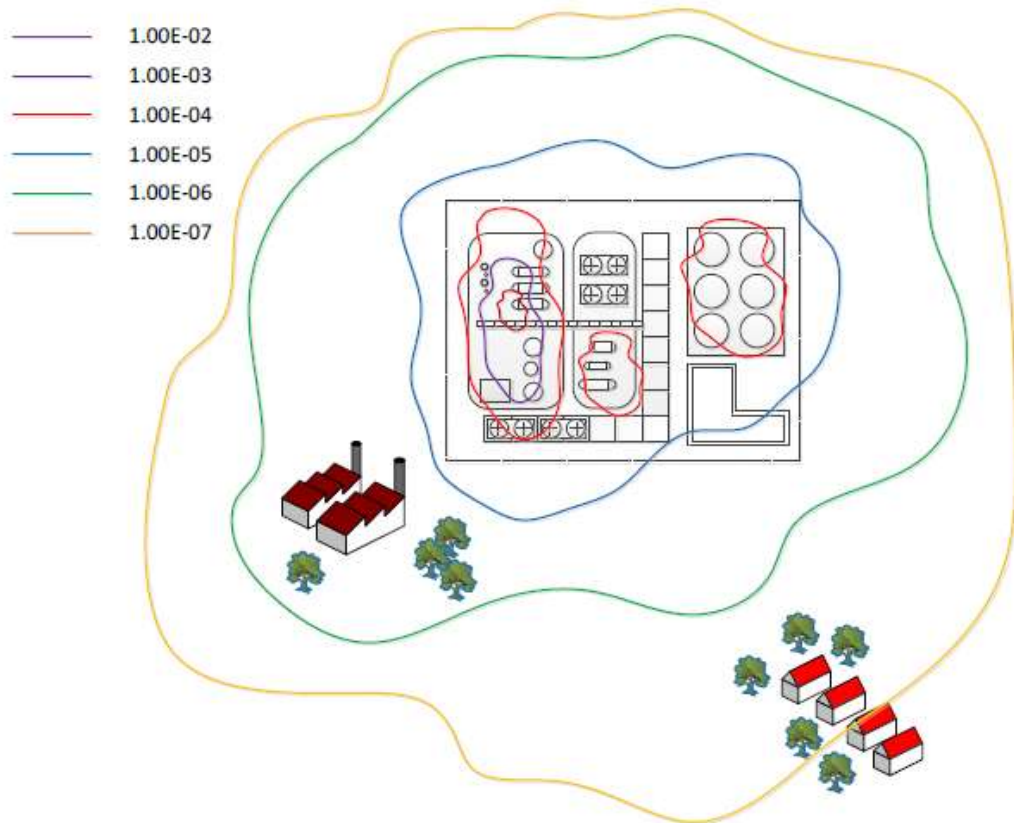


Figura 53 - Tipico schema per QRA

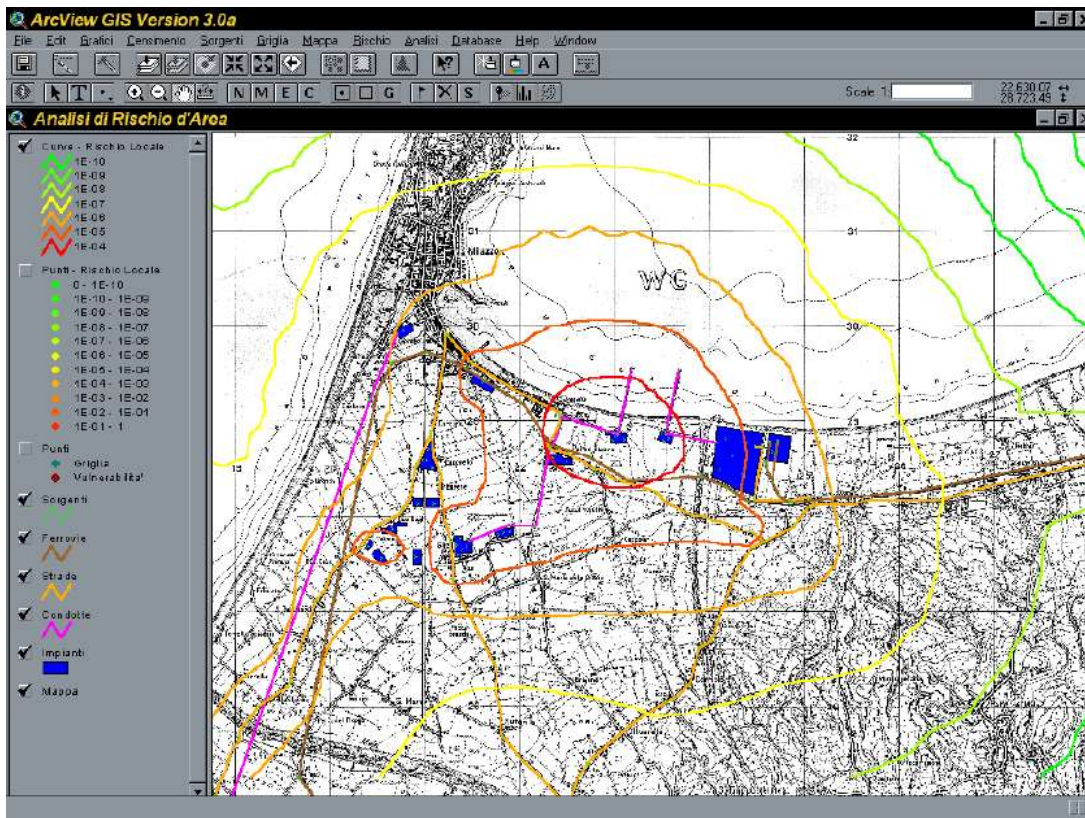


Figura 54 - Mappatura delle curve isorischio locale per un'ipotetica area d'impatto eseguito con strumento ARIPAR GIS

## RISCHIO SOCIALE

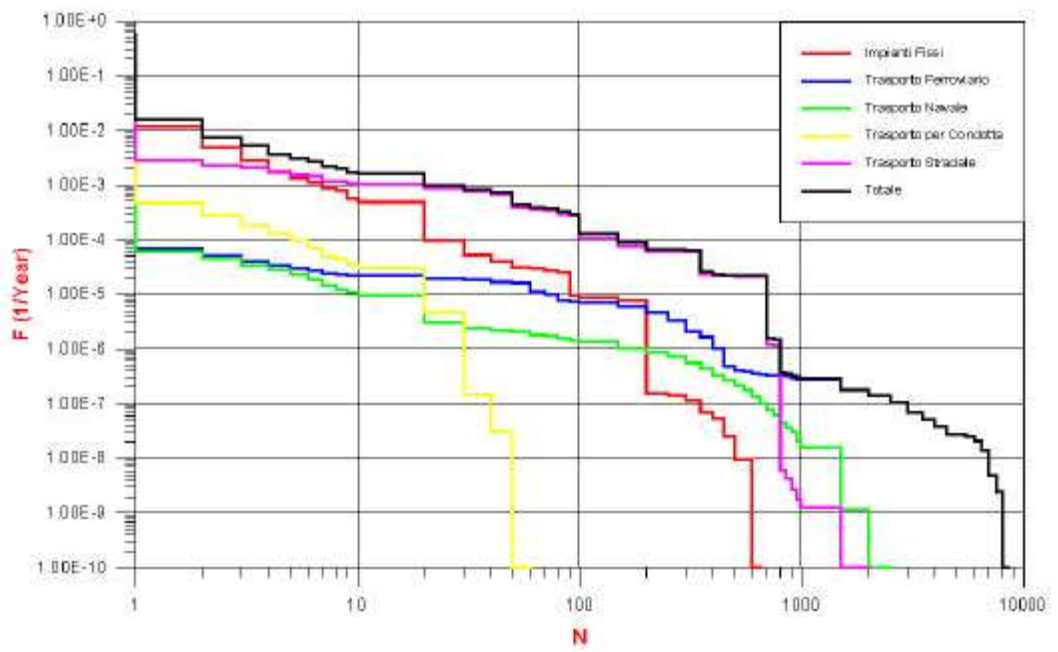


Figura 55 - Esempio di curva F-N di rischio sociale



## ***Ringraziamenti***

---

Nella vita si è chiamati a operare delle scelte, prendere delle decisioni e affrontare il proprio destino, qualunque esso sia...

Spesso in questi momenti si è soli...altre volte si ha la fortuna di trovare il sostegno di persone che ci pregiamo di chiamare amici.

Nella mia ho avuto la fortuna di incontrare persone speciali come la prof.ssa Liberatina Santillo che è stata per me mentore, sprone, faro e continua ad onorarmi della sua benevola amicizia, lei e la sua splendida famiglia che sempre mi ha accolto e riscaldato con il suo calore. Ringraziarla è per me un piacere (non un dovere) che consegno a questa pagina.

Ringrazio altresì i colleghi e amici Mario, Giuseppe, Teresa, Francesco, Daniela, Guido ed in particolare l'ing. Mosè Gallo che ha avuto la pazienza di indirizzarmi nella ricerca.

Ringrazio l'intero DICMaPI nella persona del prof. Ing. Luigi Carrino, per l'opportunità che mi ha concesso di poter lavorare e, spero, contribuire ad accrescere una struttura didattica tra le più importanti del mondo.

Non ultimi ringrazio i miei amici, Angelica, Ambra, Paolo, tutta la mia famiglia ed in particolare mio padre a cui devo il merito della persona che oggi sono diventato.

A tutti voi Grazie.