

# **EFFETTO DOMINO: PROPOSTA DI UNA METODOLOGIA DI APPROCCIO PER L'INDIVIDUAZIONE E LA VALUTAZIONE DI APPARECCHIATURE BERSAGLIO**

Ing. Alessandro Monetti\*, Ing. Davide De Dominicis\*, Ing. Giuseppe Stanghellini°, Ing. Paolo Zilli°  
\*ARPA Veneto, Dipartimento Provinciale di Venezia, Via Lissa n° 6, 30175 Mestre (VE)  
°ARPA Veneto, Dipartimento Provinciale di Verona, Via Alberto Dominutti n° 8, 37135 Verona (VR)  
[amonetti@arpa.veneto.it](mailto:amonetti@arpa.veneto.it)

## **SOMMARIO**

Nel Decreto Legislativo n° 334 del 17 agosto 1999, che regola l'analisi del rischio all'interno dell'industria di processo, è prevista anche la valutazione dell'effetto domino. Con la terminologia "effetto domino" si definisce la propagazione di un evento incidentale, detto "primario", con il verificarsi d'altri incidenti, concatenati da rapporto causale, identificati come "secondari". L'incidente primario si sviluppa da un guasto caratteristico di una cosiddetta "unità sorgente" e può interessare più "unità bersaglio", cioè quelle che, una volta investite dall'evento primario, possono dar luogo ad un incidente rilevante, definito appunto secondario o "indotto". Mentre gli effetti primari possono essere solamente meccanici o termici (perché si ipotizza che un rilascio tossico non comporti il cedimento di una struttura bersaglio), tra gli effetti secondari sono considerate anche le emissioni di sostanze tossiche.

Nonostante l'importanza di questo tipo di eventi e delle loro ripercussioni in aree industriali ad elevata concentrazione di stabilimenti, non è ancora stata oggetto di approfondimento una metodica quantitativa del rischio dovuto ad effetto domino. Poiché tale analisi si riferisce ad un impianto o ad un'area ad elevata concentrazione di stabilimenti, emerge la necessità di applicare una metodologia su vasta scala. Un tale procedimento di studio presenta una notevole complessità, per la presenza negli impianti sia di molteplici tipologie di fluidi e di processi, sia per la complessità impiantistica. Per questi motivi un'analisi completa e sistematica dell'effetto domino è attuabile solo focalizzando inizialmente l'attenzione sui bersagli più vulnerabili e pericolosi. Occorre quindi individuare gli elementi impiantistici, territoriali e infrastrutturali che possono costituire un fattore aggravante o mitigante per il tipo di danno considerato, anche al fine di una corretta formulazione del piano di emergenza d'area e delle proposte per il piano d'intervento, a livello infrastrutturale ed integrato.

## **1. METODOLOGIA**

La procedura sviluppata è strutturata in maniera da poter essere applicabile ad un codice per la ricomposizione del rischio, in particolare è stata implementata in Variar Gis. Di seguito vengono descritti quali sono i punti fondamentali su cui si basa tale metodologia di approccio, con la quale ci si propone di analizzare l'effetto domino nell'ambito dell'analisi del rischio.

### **1.1. Sorgenti causa di effetto domino**

Un'analisi preliminare viene condotta al fine di identificare i possibili incidenti primari che si possono verificare nell'area di studio e le relative zone d'impatto. Come scenari credibili vengono analizzati inizialmente quelli individuati dall'analisi di sicurezza dell'impianto, in particolare esplosioni ed irraggiamenti stazionari. Le aree di impatto sono individuate dove gli effetti fisici dell'incidente sono tali da dar luogo al potenziale danno di altri componenti d'impianto, prendendo come valori soglia quelli riportati nel Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici, 9 maggio 2001 (vedi Tabella 1), senza considerare la pericolosità per le persone o per l'ambiente. Solitamente si ha il danneggiamento delle apparecchiature a partire da valori soglia maggiori rispetto a quelli di inizio letalità, quindi, le relative zone d'impatto sono inferiori di quelle di danno per le persone, prese invece a riferimento nella valutazione del "rischio".

Nonostante tale metodo non sia esaustivo, nel senso che potrebbe trascurare alcune sorgenti di effetto domino, ha comunque la caratteristica di essere estremamente rapido e immediato se applicato a valle dell'analisi di sicurezza.

### **1.2. Bersagli più pericolosi**

All'interno dell'area di impatto, vengono individuati i "bersagli" che sono potenzialmente in grado di incrementare il danno dell'incidente primario, cioè quelli che possono amplificare notevolmente effetti e conseguenze di uno scenario iniziale, rispettando così il concetto fondamentale di effetto domino. Emerge poi l'esigenza di classificare dapprima, in maniera piuttosto rapida e speditiva, i possibili bersagli di un

incidente primario, in base alla loro pericolosità intrinseca, stabilendo dei requisiti minimi, rispetto ai quali procedere nell'analisi successiva. Per far questo è possibile, ad esempio, individuare le apparecchiature che contengono sostanze "pericolose" in quantitativi superiori a quelli elencati in standard internazionali<sup>[1]</sup>, gerarchizzando la loro pericolosità attraverso metodi speditivi. In seconda analisi, andrebbero considerate anche le apparecchiature non prese in considerazione al punto precedente, ma interessate da fluidi a condizioni di temperatura e pressione gravose.

### **1.3. Affidabilità delle protezioni**

Alcuni dei bersagli individuati nell'area possono venire esclusi dall'analisi successiva se dotati di protezioni adeguate ed in grado di resistere allo scenario incidentale considerato. Si escludono così quelli aventi le seguenti caratteristiche:

- Dotati di adeguate protezioni passive (ad esempio tumulati o coibentati, tipo i serbatoi di stoccaggio di GPL soggetti a normativa nel DM 14.04.1994), salvo però, verificare se tali protezioni sono in grado di resistere a una determinata sovrappressione, o ad un certo irraggiamento, relativi proprio allo scenario considerato;
- Dotati di protezioni attive, in grado di entrare in funzione dopo pochi secondi e di consentire la protezione dell'apparecchio per un tempo sufficiente all'intervento di altri sistemi di emergenza.

Non vengono ulteriormente considerati nemmeno i bersagli che sono totalmente schermati, rispetto al punto di origine dell'incidente primario, da ostacoli di qualsiasi genere, tipo muri di contenimento o altre apparecchiature.

### **1.4. Caratteristiche delle sostanze contenute**

I bersagli individuati vengono suddivisi in tre categorie, a seconda della sostanza contenuta:

- 1) Sostanze che possono creare danni solo per effetti tossici;
- 2) Sostanze infiammabili ed esplosive, ma non tossiche;
- 3) Sostanze esplosive o infiammabili, ma nello stesso tempo anche tossiche, oppure quelle i cui fumi di combustione contengono sostanze tossiche.

Per la prima di queste categorie si valutano le aree di danno che potenzialmente un loro cedimento catastrofico può comportare, considerando solamente il "bersaglio uomo", mentre per le altre si valuta sia l'area in cui si possono avere lesioni irreversibili per l'uomo, sia l'area di potenziale danno ad altre apparecchiature.

### **1.5. Area di danno degli incidenti indotti**

Le aree di danno da prendere in considerazione sono quelle in cui si creano effetti fisici al di sopra dei limiti soglia, delineati nel "Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici, 9 maggio 2001". Si deve distinguere se si considera l'effetto domino rispetto alla pericolosità per le apparecchiature, utilizzando i dati relativi alla colonna 5, oppure rispetto alla pericolosità per le persone, con i dati relativi alla colonna 2. Per il calcolo delle zone d'impatto si possono utilizzare, date le caratteristiche del bersaglio, i vari modelli di simulazione descritti in letteratura<sup>[2]</sup> e implementati in software presenti nel mercato, oppure metodi empirici più speditivi<sup>[3]</sup>.

Gli scenari da considerare per il calcolo della zona d'impatto dipendono dal tipo di incidente primario, infatti, nel caso si tratti di una radiazione, come incidente indotto si possono considerare essenzialmente:

- pool fire (se la sostanza è un liquido infiammabile);
- esplosione (se la sostanza contenuta è un gas o un gas liquefatto).

Nel caso invece di un incidente primario che contempli la propagazione di un'onda d'urto, si avrà al più un incendio (ma anche Flash Fire o UVCE, nel caso di innesco ritardato), se la sostanza fuoriuscita in seguito a ribaltamento o rottura trova un innesco. Chiaramente in tal caso la probabilità di un incidente indotto dipenderà da quella di innesco<sup>[4]</sup> e chiaramente sarà ridotta rispetto al caso in cui lo scenario incidentale sorgente sia una radiazione termica o un incendio, in cui la probabilità di innesco è unitaria.

### **1.6. Pericolosità dei bersagli in base all'area di danno**

Lo studio dell'effetto domino tende ad individuare un insieme di incidenti concatenati tra loro ed innescati da un incidente primario, che possono amplificare gli effetti e le conseguenze di quest'ultimo, sia dal punto di vista spazio-tempo, che dal punto di vista della magnitudo. L'incremento delle conseguenze si determina con un involucro delle aree di impatto di tutti gli scenari incidentali, sia degli incidenti indotti, sia

del primario.

I principali fattori, che possono incrementare il rischio intrinseco dell'apparecchiatura sono di seguito elencati:

- Tipologia di sostanza contenuta;
- Quantità presente;
- Hold-up;
- Condizioni di esercizio (pressione e temperatura);
- Caratteristiche costruttive dell'apparecchio.

Tali elementi sono sostanzialmente quelli che possono incrementare l'area di danno generata da rottura catastrofica di un bersaglio, se questo viene investito dall'incidente primario. Per questo, la metodologia descritta classifica la pericolosità dei bersagli in base all'area di danno del possibile incidente indotto, proprio perché essa si ritiene direttamente proporzionale al rischio intrinseco del bersaglio.

Per l'analisi successiva vengono solamente considerate le apparecchiature il cui cedimento provocherebbe:

- Danno esterno ai confini di stabilimento, considerando il bersaglio uomo;
- Area di danno superiore a quella dell'incidente primario, considerando il danno per altre apparecchiature.

In base all'estensione delle aree di danno ipotizzabili, si gerarchizza quindi la pericolosità delle apparecchiature bersaglio.

### 1.7. Probabilità di interessamento

Oltre a quello intrinseco già visto, per un'apparecchiatura si ha pure un rischio legato al suo posizionamento, cioè alla disposizione nell'impianto rispetto ad altre apparecchiature e al punto di origine dell'incidente primario. Tra i fattori di rischio legati al posizionamento e al tipo di scenario, i più importanti sono:

- Lay out d'impianto e disposizione rispetto ad altri componenti;
- Quota di posizionamento da terra;
- Fattori di vista, rispetto ad un incendio che si sta propagando.

È molto importante calcolare il rischio connesso con il posizionamento dell'apparecchiatura e col tipo di scenario considerato, in quanto, dai fattori che lo compongono, si stima la probabilità con cui un dato bersaglio può essere investito dall'incidente considerato.

Per determinare la probabilità con cui una certa apparecchiatura può essere investita da un "*jet fire*", si devono considerare:

- Forma e dimensioni del jet: in particolare, interessa la forma geometrica della superficie esterna della fiamma (normalmente conica), in funzione della direzione di uscita dalla tubazione o dall'apparecchiatura, l'angolo di apertura all'uscita del foro, la lunghezza e la turbolenza interna;
- Ostacoli che può incontrare il getto incendiato: in tal caso si dovrà valutare come si deforma la fiamma;
- Posizione reciproca tra il foro dove ha origine il jet e il bersaglio;
- Fattori di vista: si possono calcolare analiticamente per superfici semplici, oppure con l'utilizzo di codici di calcolo menzionati in letteratura, validi anche per geometrie complesse.

I vari punti precedenti richiedono un attento studio sulla fluidodinamica dei jet incendiati, o, almeno in prima approssimazione, una stima delle sue caratteristiche. Vi sono in commercio codici che si basano su un'analisi CFD (Computational Fluid Dynamics), utilizzati ad esempio da Ansys CFX, che permettono di analizzare la fluidodinamica di un getto anche in presenza di ostacoli e di valutare il calore che colpisce un bersaglio qualsiasi: questo poiché il lay out d'impianto può essere inserito tramite interfaccia con CAD.

Nel caso l'incidente primario sia un "*Pool fire*", bisogna tenere conto di:

- Quota di posizionamento dell'apparecchio, in quanto l'irraggiamento non coinvolge bersagli posti a determinate altezze;
- Contenimenti e canali di scolo in grado di arginare la pozza e deviarla efficacemente;
- Effettiva natura del terreno;
- Fattori di vista tra l'incendio generato e il bersaglio, considerando anche la presenza di eventuali ostacoli.

Quando l'incidente primario è un "*Uvce*", l'onda di pressione coinvolge determinati bersagli a seconda delle seguenti variabili:

- Dimensione della nube esplosiva, quantità e sostanza in essa contenuta;
- Posizione della nube nell'aria al momento dell'innesco. Questa dipende dal lay out dell'impianto, che permetterà passaggi più accessibili di altri, e dalle condizioni meteorologiche (frequenza delle

classi di stabilità nella zona, della velocità e della direzione del vento);

- Presenza di ostacoli sui quali s'infrange l'onda o dai quali essa viene deviata. Questo punto richiede uno studio sulla riflessione, diffrazione e rarefazione creata dalle onde di pressione in ambiente confinato, così da determinare il carico impresso (vedi Figura 1 e Figura 2). Inoltre, serve valutare se ci sono direzioni preferenziali di sfogo delle esplosioni, dovute, per esempio, alla presenza di parti più o meno aperte o cedevoli.

Normalmente non si considera il "*Flash-fire*" come una possibile causa di effetto domino, questo per il fatto che è un fenomeno di rapida durata (qualche secondo), non in grado di distruggere le apparecchiature, ma di creare forse solamente danni a cavi elettrici e alla strumentazione.

Per quanto riguarda il "*Bleve*", si considera il possibile danno ad apparecchiature, legato solamente alla sovrappressione originata in questo incidente, poiché la radiazione, se pur molto intensa, avviene per un periodo di tempo normalmente inferiore al minuto. Per quanto detto, si può ritenere, in prima approssimazione, che un *Bleve* provochi danno ad altre unità solo per proiezione di frammenti e per l'onda di sovrappressione, generatasi con epicentro nel punto in cui si trova l'apparecchiatura sorgente dell'incidente. Per quanto riguarda la proiezione di frammenti, la probabilità di esserne bersaglio è funzione delle seguenti variabili:

- Numero di frammenti generati, forma e dimensioni: questi dati dipendono sia dalle caratteristiche costruttive e di esercizio del serbatoio, sia anche dal tipo di esplosione che si genera;
- Velocità iniziale dei "missili primari" (cioè pezzi del serbatoio esploso, scagliati dall'onda d'urto) e distanza alla quale possono venire proiettati, che dipende dall'angolo iniziale di proiezione;
- Presenza o meno di ostacoli, che possono intercettare i frammenti prima che arrivino alla massima distanza di caduta;
- Proiezione di "missili secondari": questi sono oggetti collocati nelle vicinanze del luogo dove ha avuto origine l'esplosione, trascinati dall'onda di pressione che ha proiettato anche i frammenti "primari".

Per i possibili "bersagli" di un *Bleve*, comunque, la probabilità di essere colpiti da frammenti, data la sua valenza essenzialmente puntuale, è solitamente molto inferiore di quella di essere investiti dall'onda di pressione.

### 1.8. Probabilità di collasso

I calcoli di resistenza alle sollecitazioni meccaniche indotte dall'incidente "iniziatore", possono essere condotti in vari modi. I metodi descritti in letteratura tecnica e utilizzati dalle aziende che si occupano di rischio industriale, si possono raggruppare essenzialmente come di seguito illustrato:

- Confronto con dati storici: analizzando situazioni incidentali con caratteristiche simili a quelle dell'incidente considerato, si valutano quali potrebbero essere i meccanismi e i tempi di cedimento di particolari bersagli investiti;
- Analisi e confronto con dati sperimentali riscontrabili in letteratura: si possono trovare dati ottenuti sperimentalmente sulla resistenza a determinate sollecitazioni di semplici elementi costruttivi, come ad esempio nella norma UNI 9503 o nelle pubblicazioni del TNO<sup>[5]</sup>, per quanto riguarda le sollecitazioni termiche;
- Modelli probabilistici, tipo "funzioni di probit": alcuni studi prevedono l'utilizzo di tali funzioni per la sovrappressione e per l'irraggiamento;
- Utilizzo di codici ad elementi finiti: in commercio vi sono complessi e completi programmi, basati su codici ad elementi finiti, tra cui ad esempio ANSYS;
- Software di simulazione: in campo internazionale, sono stati sviluppati altri software che si occupano dell'analisi termica e della risposta meccanica di serbatoi e apparecchi "ingolfati" nel fuoco.

Con l'elaborazione di alcune di queste metodologie e attraverso studi e considerazioni sull'efficacia dei sistemi di intervento in caso di danno, si possono stimare le probabilità di cedimento dei vari bersagli.

### 1.9. Valutazione della frequenza degli incidenti indotti

La probabilità di collasso determinata al punto precedente, viene moltiplicata per la frequenza dell'evento primario, così da ottenere la frequenza con cui un bersaglio può venire investito da un particolare incidente primario. Per lo stesso bersaglio vanno considerati tutti gli incidenti che lo possono coinvolgere, iterando il procedimento. Alla fine per uno stesso potenziale bersaglio si ottengono varie frequenze di collasso, ognuna legata ad un diverso incidente sorgente. La somma di queste viene comparata con la frequenza di guasto che avrebbe il bersaglio, calcolata con le tecniche della tradizionale analisi del rischio con le quali non verrebbe

valutata la possibilità di effetto domino.

### **1.10. Nuovi scenari incidentali per l'analisi di sicurezza**

Considerando solo gli incidenti indotti con una certa frequenza, si ottengono così nuovi scenari incidentali da prendere in considerazione nell'analisi di sicurezza. In particolare, si considerano a monte della metodologia i nuovi scenari che contemplan esplosioni o incendi, per valutare una ulteriore probabilità di propagazione.

La metodologia descritta è schematizzata nel flow chart di *Figura 3*.

## **2. RISULTATI**

Lo sviluppo teorico del metodo e la gerarchizzazione proposta, anche in considerazione dei frequenti colloqui con gli operatori d'impianto, si presta ad essere applicato a valle dell'analisi di sicurezza, nella fase di ricomposizione di rischio d'area tramite Variar Gis.

L'individuazione iniziale dei bersagli che possono dar luogo ad incidenti indotti rilevanti, cioè quelli in grado di amplificare significativamente le conseguenze di uno scenario incidentale sorgente, permette di contenere i tempi di calcolo, focalizzando l'attenzione sugli obiettivi veramente significativi. Si provvederà poi a valutare la probabilità di propagazione attraverso la verifica strutturale alle sollecitazioni meccaniche indotte, analisi che richiede tempi applicativi più lunghi e l'utilizzo di metodologie complesse e rigorose.

Si è provveduto anche all'applicazione ad un caso di studio, per testare l'attendibilità del metodo. Questo è stato fatto in un impianto di Cracking, dove sono molteplici le fonti di rischio, sia per la tipologia di fluidi trattati aventi caratteristiche di infiammabilità ed esplosività, sia per la complessità e compattezza dell'impianto, dove quindi l'effetto domino si può verificare con maggiore probabilità. Nell'ambito dell'applicazione al caso di studio è stato messo in evidenza che, in una sola sezione dell'impianto considerato, si è potuti individuare circa una decina di apparecchiature, in particolare serbatoi di stoccaggio intermedi, che possono divenire sorgente di effetto domino, qualora investiti dallo scenario incidentale considerato. È facile intuire, invece, che il numero di tutti i possibili bersagli, considerando l'intero stabilimento e tutti gli incidenti analizzati nell'analisi del rischio, è sicuramente superiore, quindi, le analisi successive (calcolo della probabilità di propagazione dell'incidente, analisi termica e strutturale, rivalutazione delle frequenze) richiederebbero un grosso lavoro e lunghi tempi di studio, qualora non venissero individuati e proposti metodi speditivi, basati comunque su fondamenti oggettivi e scientifici. L'applicazione ad un caso pratico ha così permesso di considerare la metodologia elaborata sistematica e compatibile con i tempi necessari ad una corretta analisi di sicurezza.

I risultati ottenuti hanno dimostrato come il metodo tenda ad individuare quelli che effettivamente sono gli obiettivi più vulnerabili e che possono incrementare le conseguenze di un incidente sorgente, il tutto in maniera oggettiva e scientifica perché le basi sono modelli ampiamente convalidati dalla letteratura tecnico-scientifica sull'argomento. L'individuazione di queste apparecchiature permette di apportare migliorie impiantistiche per incrementare il livello di sicurezza. Si è dimostrata anche la facilità di implementare il metodo sviluppato come strumento per verifiche progettuali o per l'individuazione di piani di miglioramento delle condizioni di sicurezza.

## **3. CONCLUSIONI**

Il metodo richiede, per la sua applicazione, la disponibilità di informazioni non sempre presenti nell'analisi di sicurezza, ma disponibili in impianto, quali: specifiche tecniche, dati progettuali sugli apparecchi, condizioni di processo, fogli di marcia, lay-out impiantistici e percorso linee.

Spesso, gli scenari indotti da effetto domino non comparivano nell'analisi di sicurezza effettuata dai gestori, in quanto con magnitudo propria o con frequenza poco significativa. Invece, il ricalcolo della frequenza di accadimento, dovuta al concorso di un effetto fisico (radiazione termica, sovrappressione e proiezione di frammenti) su un apparecchio "bersaglio", potrebbe risultare maggiormente significativa e necessitare interventi di prevenzione e protezione.

Vi è comunque l'esigenza di ulteriori studi per un approccio più completo dell'effetto domino, con particolare riferimento a:

- Modalità e probabilità di propagazione di incidenti;
- Verifica della resistenza strutturale di apparecchiature investite da onda d'urto, così come la modalità di propagazione, la riflessione, la rifrazione e la rarefazione create dalle onde di pressione in ambiente confinato;

- Analisi termica e strutturale di apparecchiature investite da irraggiamento, la fluidodinamica di pool fire o getti incendiati e il calcolo dei fattori di vista.

Lo studio dovrà essere continuato, provvedendo ad approfondire sia l'analisi termica dei bersagli investiti da incendio o radiazione, sia la verifica di resistenza a sollecitazioni meccaniche di bersagli sottoposti ad irraggiamento, investiti da un'onda d'urto o colpiti da frammenti proiettati in seguito ad un'esplosione. Questi studi sono essenziali per calcolare una probabilità di propagazione degli incidenti primari, così da poter rivalutare le frequenze di guasto, calcolate nell'ambito dell'analisi di sicurezza: in tal modo, infatti, si può considerare anche l'effetto domino, che naturalmente incrementa tali frequenze. Tali problemi richiederebbero successivi e approfonditi studi, per l'individuazione di tecniche analitiche applicabili ai vari scenari incidentali ipotizzati.

La multidisciplinarietà dell'approccio e dei temi coinvolti, che spaziano dall'ingegneria chimica a quella dei materiali, dall'informatica alla meccanica, lasciano intravedere la necessità di approfondimenti che lo studio fatto, ha messo in evidenza.

## FIGURE E TABELLE

Tabella 1: Valori di soglia da D.M. 09/05/2001

Scenario incidentale	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture / Effetti domino
	1	2	3	4	5
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m <sup>2</sup>	7 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>	12,5 kW/m <sup>2</sup>
BLEVE/Fireball (radiazione termica variabile)	Raggio fireball	350 kJ/m <sup>2</sup>	200 kJ/m <sup>2</sup>	125 kJ/m <sup>2</sup>	200-800 m (*)
Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL	½ LFL			
VCE (sovrappressione di picco)	0,3 bar (0,6 spazi aperti)	0,14 bar	0,07 bar	0,03 bar	0,3 bar
Rilascio tossico (dose assorbita)	LC50 (30min, hmn)		IDLH		

(\*) secondo la tipologia del serbatoio

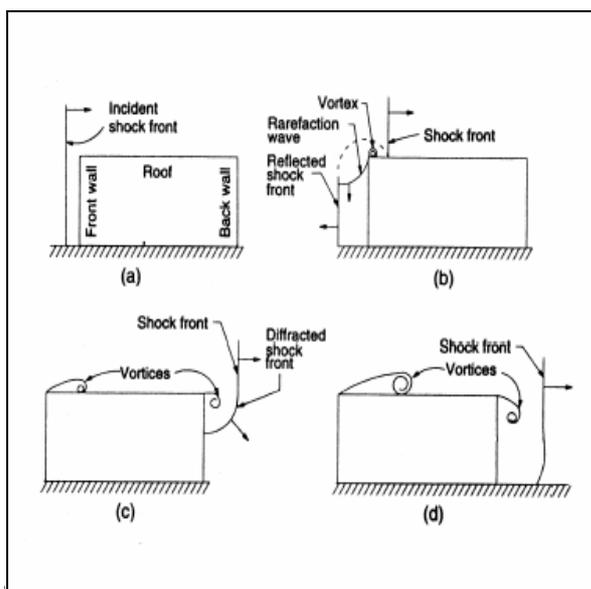


Figura 1. Onda d'urto e struttura: Vista laterale

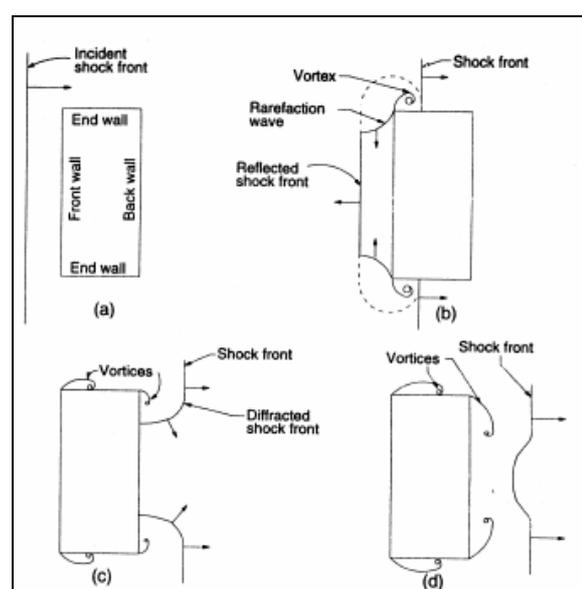


Figura 2. Onda d'urto e struttura: Vista in pianta

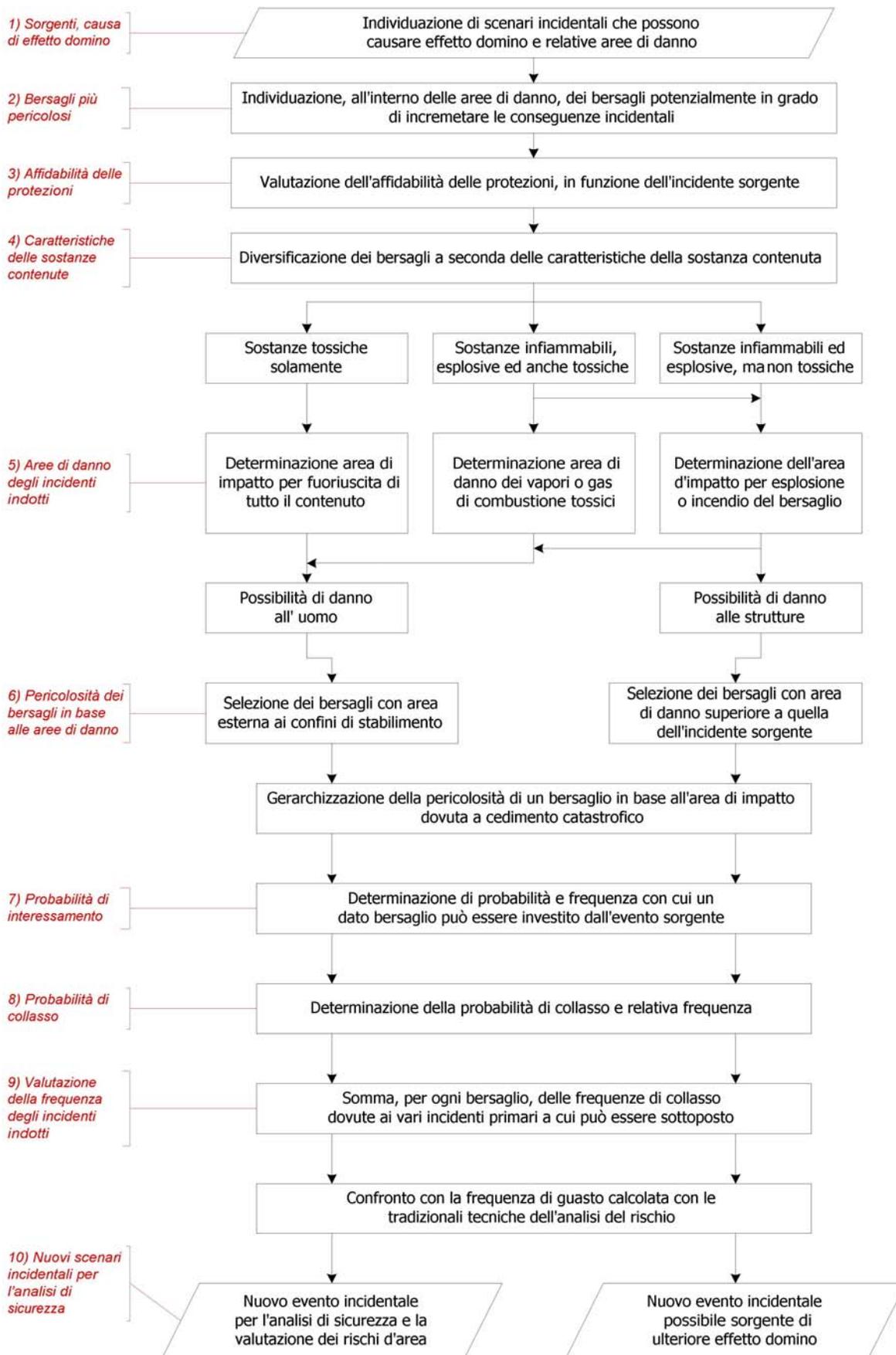


Figura 3. Rappresentazione schematica della metodologia sviluppata

## GLOSSARIO

**Bleve:** Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion – Evento di rottura duttile delle lamiere di un serbatoio sottoposte contemporaneamente alla pressione interna del fluido e ad un riscaldamento che ne attenua la resistenza meccanica. In tal caso si ha il cedimento del serbatoio con brusca espansione del fluido contenuto e proiezione di frammenti di lamiera a notevoli distanze. Il fluido rilasciato comporta la formazione di una sfera di gas infuocato (fireball) che si dilata e si eleva nell'aria irraggiando calore. Un BLEVE ed il conseguente FIREBALL avviene perché un incendio coinvolge un serbatoio contenente gas compresso liquefatto e quest'incendio permane ed interessa direttamente una zona del mantello non in contatto con il liquido, per cui si ha il cedimento del serbatoio prima che tutto il liquido sia evaporato.

**Fireball:** combustione rapida dei vapori prodotti dalla vaporizzazione di gas compressi liquefatti con un fenomeno classico di innalzamento della palla di fuoco.

**Flash fire:** incendio in massa di una nuvola di vapore infiammabile con effetto non esplosivo.

**Incidente rilevante:** avvenimento rilevante quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di rilievo connessi ad uno sviluppo incontrollato di una attività industriale che dia luogo ad un pericolo grave, immediato o differito per l'uomo, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e per l'ambiente e che comporti l'uso di una o più sostanze pericolose. Tali sostanze sono composti chimici che provocano effetti nocivi sull'organismo umano quando sono inalati, ingeriti o assorbiti per via cutanea (*sostanze tossiche*), oppure che possono liberare grandi quantità di energia termica (*sostanze infiammabili*) e/o energia dinamica (*sostanze esplosive*).

**Jet fire:** incendio di un getto gassoso turbolento infiammabile, effluente da un componente impiantistico in pressione.

**Pool fire:** incendio di una pozza di liquido infiammabile al suolo.

**UVCE:** Unconfined Vapor Cloud Explosion – Esplosione non confinata di una nuvola di vapore.

## BIBLIOGRAFIA

I riferimenti devono essere citati nel testo con numero arabo tra parentesi quadre. Elencare i riferimenti in ordine numerico usando lo stile seguente:

- [1] API Publication 581, "*Risk-Based Inspection Base Resource Document*", First edition, May 2000.
- [2] Lees F.P., "Loss prevention in the process industries", London and Boston: Butterworths, 1996.
- [3] C.J.H. van den Bosh, R.A.P.M. Weterings, "Methods for the calculation of physical effects", *Yellow Book*, Committee for the prevention of Disasters, Third edition, 1997.
- [4] Sdu Uitgevers, Den Haag, "Guidelines for quantitative risk assessment", *Purple Book*, Committee for the prevention of Disasters, First edition 1999.
- [5] Ir. E. Rombouts, "Methods for the determination of possible damage", *Green Book*, Committee for the prevention of Disasters, C.J.H. van den Bosh, R.A.P.M. Weterings, First edition, 1992.