

Attività con pericolo d'incidenti rilevanti

Elementi di analisi del rischio

Ing. Gaetano Sola

— · —

Riassunto

La tutela dell'uomo, dei beni e dell'ambiente dai pericoli derivanti dall'esercizio di determinate attività industriali, è oggi disciplinata in Europa dalle legislazioni nazionali derivanti dal recepimento delle direttive della Comunità Economica Europea succedutesi a partire dal 1982.

Nel seguito sono descritte le problematiche, le metodologie e le tecniche utilizzate per la identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi nei siti industriali con tecnologia complessa tra i quali rientrano certamente gli stabilimenti con pericoli d'incidente rilevante soggetti agli obblighi della direttiva 96/82/CE e della norma di recepimento italiana, decreto legislativo n. 334/99.

Premessa

Il campo di applicazione del decreto legislativo n. 334/99 è definito in funzione delle quantità di sostanze pericolose presenti all'interno dello stabilimento.

La presenza di tali sostanze, oltre certi valori di soglia, è infatti considerata condizione necessaria affinché possano accadere incidenti rilevanti, vale a dire rilasci di materia e/o energia in quantità e forme tali da determinare un pericolo immediato o differito per le persone, le cose o l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento.

Al riguardo, è importante precisare che le sostanze pericolose cui si riferisce la norma sono quelle elencate nell'allegato 1 al decreto; esse possono essere presenti nello stabilimento come materie prime, prodotti, sottoprodotti, residui, prodotti intermedi, compresi quelli che possano ragionevolmente ritenersi generati in caso d'incidente.

Il citato allegato riporta due elenchi contenenti rispettivamente:

- Un insieme di specifiche sostanze, indicate nominativamente;
- un insieme di categorie di pericolosità definite ai sensi delle direttive dell'Unione Europea in materia di "classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose" (al riguardo, si vedano i riferimenti normativi allegati).

L'assoggettabilità dello stabilimento, agli obblighi del decreto legislativo n. 334/99, discende dall'applicazione del criterio riportato nelle note esplicative dell'allegato; tale criterio è basato sulla somma delle quantità di sostanze o categorie di sostanze pericolose, presenti nello stabilimento, riferite ai valori di soglia indicati nelle medesime tabelle dell'allegato.

Il fatto che il legislatore, nel formulare la direttiva e quindi le norme nazionali di recepimento, faccia discendere gli obblighi in materia di sicurezza dal fatto che siano presenti sostanze pericolose in quantità superiori a determinate soglie, anch'esse evidentemente ritenute pericolose, è indicativo di un criterio guida per la valutazione dei pericoli: le caratteristiche di pericolosità delle diverse sostanze presenti nello stabilimento.

Infatti, se è vero che le situazioni di pericolo sono determinate sia dalle caratteristiche delle sostanze utilizzate sia dal tipo di lavorazione, dalle condizioni operative, dai sistemi di gestione, vale a dire dalle caratteristiche dell'intera attività, è anche intuibile che la pericolosità intrinseca delle sostanze ed i rilevanti quantitativi detenuti spesso finiscono col prevalere sugli altri fattori di pericolo nel determinare il rischio legato all'attività.

Ciò è particolarmente vero se si considerano gli effetti sul territorio circostante all'installazione industriale nella quale si svolge l'attività a rischio.

D'altra parte, se si considerano gli effetti a brevissima distanza dal centro di pericolo, ci si rende conto che essi sono fortemente influenzati più dall'insieme dei fattori di pericolo che dalle mere quantità, nel senso che anche per quantitativi di sostanze pericolose relativamente modeste gli effetti all'interno dell'impianto o nelle immediate vicinanze possono essere rilevanti.

Ciò è significativo, se ci si riferisce agli obiettivi generali di tutela della salute degli addetti all'industria, anche nei casi in cui le sostanze pericolose sono presenti in quantitativi tali da non assoggettare l'attività al sistema di controllo introdotto dal decreto legislativo n. 334/99.

Un aspetto fondamentale nell'approccio analitico che descriveremo nel seguito è la distinzione tra pericolo e rischio.

Per pericolo intenderemo una situazione recante il potenziale di danneggiare fisicamente le persone, le cose o l'ambiente ovvero una combinazione di sostanze pericolose, condizioni operative e circostanze non pianificabili che possono far insorgere uno o più incidenti.

D'altra parte il rischio è la combinazione della frequenza attesa (eventi / anno) e delle conseguenze (danni / eventi) relative ad un singolo incidente o ad un gruppo di incidenti.

Non è difficile rilevare come il decreto legislativo n. 334/99 sia basato proprio sui due concetti di pericolo e rischio.

Da questo punto di vista è ragionevole affermare che la selezione dei pericoli rispetto ai quali tutelare l'uomo e l'ambiente sia stata effettuata dal legislatore individuando tutte le attività "pericolose" per legge, mentre l'identificazione sistematica dei pericoli e la valutazione dei rischi sono compiti del gestore.

Il gestore, prima di procedere all'analisi dei rischi dovrà procedere ad una identificazione e valutazione dettagliate dei pericoli connessi all'attività svolta.

Riguardo alle diverse soglie di assoggettabilità definite nell'allegato 1, notiamo come il legislatore preveda che il gestore soggetto all'obbligo di notifica (art. 6) definisca anche una politica di sicurezza ed adotti un sistema di gestione finalizzato a raggiungerne gli obiettivi (art. 7), e solo in alcuni casi (art. 8) ne dia evidenza documentale all'autorità di controllo mediante il rapporto di sicurezza.

Tale rapporto di sicurezza, oltre a contenere delle parti descrittive delle attività presenti nell'insediamento industriale, deve contenere un'analisi di sicurezza sviluppata secondo le indicazioni del decreto della Presidenza del Consiglio dei ministri del 31 marzo 1989 e - più in generale - secondo lo stato dell'arte del settore.

Ovviamente, l'analisi di sicurezza ed il suo costante aggiornamento sono indispensabili per una corretta implementazione ed aggiornamento del sistema di gestione della sicurezza e quindi per il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza definiti dal gestore in ottemperanza all'obbligo di cui all'art. 7.

Nel seguito è presentata una panoramica dei criteri informativi e delle tecniche utilizzabili per lo sviluppo dell'analisi di sicurezza.

Ai fini dell'approfondimento dei suddetti elementi riportata la bibliografia cui si è fatto riferimento per l'estensione delle presenti note.

Infine, nell'appendice è riportato un glossario dei termini utilizzati dalla normativa tecnica vigente nonché i principali termini e acronimi utilizzati nella letteratura tecnica e scientifica riguardante la materia di cui trattiamo.

Metodologia di analisi

La metodologia di analisi proposta nel seguito ricalca l'approccio probabilistico comune a molte discipline tecniche.

Tale approccio deriva dal fatto che il rischio, dipendendo da due variabili casuali, non può che risentire di detta casualità.

Ciò risulta immediatamente evidente se si fa mente locale sul fatto che la valutazione del rischio non è altro che una previsione sul futuro.

Più avanti ci soffermeremo a specificare meglio le cause di detta casualità ed i problemi che ne derivano, anche in considerazione del fatto che le due componenti del rischio risentono molto di alcuni fattori d'incertezza.

Per tale motivi è indispensabile, affinché l'analisi sia possibile, che vengano prefissati gli obiettivi che si intendono raggiungere, in quanto da essi dipendono i criteri di accettabilità del rischio e quindi le conclusioni dell'analisi di sicurezza.

Preliminarmente allo studio delle componenti del rischio ed alla loro composizione bisognerà necessariamente sviluppare la fase d'identificazione dei pericoli.

Una volta individuati i pericoli si potranno definire gli scenari incidentali, cioè le sequenze di eventi non pianificati che, concretizzando i pericoli individuati, producono conseguenze indesiderate per l'uomo, le cose o l'ambiente.

E' la cosiddetta fase di valutazione dei pericoli.

Nel seguito utilizzeremo i termini "incidente", "scenario incidentale" e "sequenza incidentale" come sinonimi.

Nella definizione degli scenari incidentali è fondamentale il ruolo dell'analista e della sua soggettività in quanto tale operazione può essere effettuata con diverse tecniche, più o meno complesse e quindi più o meno costose.

Ad esempio l'identificazione degli scenari possibili potrebbe essere fatta con il solo contributo dell'esperienza dell'analista e del gestore dell'impianto; in tal caso avremmo un costo basso ma anche una certa probabilità, dipendente dal grado di esperienza dei due soggetti, di non identificare alcuni incidenti possibili.

Definito l'insieme di tutti gli scenari possibili bisognerà selezionare il sottoinsieme di quelli ritenuti ragionevolmente credibili scartando già da questa fase quelli il cui verificarsi è giudicato a priori non credibile. In realtà in molti casi tale giudizio può risultare soggettivo e/o incerto per cui, nel dubbio conviene approfondire l'analisi inserendo questi casi nel sottoinsieme di quelli credibili.

Sugli incidenti di detto sottoinsieme si dovranno applicare delle tecniche analitiche di valutazione volte alla stima, per ogni incidente individuato, sia della probabilità sia delle conseguenze.

Su questi due insiemi di valori è già possibile fondare un giudizio di accettabilità; cioè, per ogni sequenza, in base a

criteri predefiniti, l'analista dovrà stabilire se la frequenza e/o le conseguenze sono accettabili; se la risposta è affermativa in ambedue i casi potrà proseguire con l'analisi, viceversa dovrà individuare delle soluzioni finalizzate alla riduzione della probabilità e/o delle conseguenze e ripartire con il primo passo dell'analisi di rischio (individuazione dei pericoli).

Come abbiamo accennato, e come mostreremo meglio, i criteri di accettabilità, in generale, sono soggettivi e comunque dipendono dagli obiettivi che si vogliono raggiungere con l'analisi di sicurezza.

E' opportuno ribadire inoltre la necessità di procedere ex novo alla stima rischio nei casi in cui vengono effettuate delle modifiche all'attività.

Nel caso in cui sia la probabilità sia le conseguenze degli incidenti, singolarmente valutate, siano ritenute accettabili, l'analista procederà alla stima del rischio.

Tale stima, non facile, consiste nella composizione delle frequenze e conseguenze, secondo criteri che ancora una volta dipendono dagli obiettivi dell'analisi.

Per avere un'idea di tale dipendenza, e della sottostante complessità, si pensi che parlando di rischio ci si può riferire al rischio di mancata produzione, al rischio per la salute dei lavoratori, al rischio per la popolazione, al rischio associato ad un particolare incidente, ad un gruppo d'incidenti o alla totalità degli incidenti ritenuti credibili nell'intero stabilimento o addirittura in un'intera area.

A prescindere dalle difficoltà concettuali ed operative connesse con la stima del rischio, una volta calcolato il rischio bisognerà poi decidere se è accettabile o meno.

In caso affermativo l'analisi è conclusa con una decisione di accettabilità.

In caso negativo l'analista dovrà invece valutare se le conseguenze e le probabilità componenti il rischio sono riducibili. In tal caso procederà ad individuare le misure per la loro riduzione mentre in caso contrario concluderà con una decisione di non accettabilità.

La decisione di accettabilità o di non accettabilità dovrà necessariamente essere formulata con riferimento agli obiettivi prefissati.

Ad esempio, se l'obiettivo dell'analisi è il miglioramento degli impianti al fine di evitare le perdite economiche conseguenti alle fermate derivanti da problemi di affidabilità, il giudizio di accettabilità andrà formulato nei termini di un rapporto costi benefici che tenga conto dei maggiori profitti ottenibili a seguito di un miglioramento dell'impianto.

Nel seguito descriveremo le principali tecniche utilizzabili per lo sviluppo delle varie fasi sopra descritte.

Definizione degli obiettivi

Come abbiamo accennato la definizione degli obiettivi è il primo indispensabile passo per la corretta implementazione dell'analisi di sicurezza.

Questi infatti influenzano la scelta degli strumenti da utilizzare per la stima del rischio, la definizione dei criteri di accettabilità del rischio, la presentazione dei risultati dell'analisi in una forma fruibile dai soggetti che dovranno prendere delle decisioni (management, autorità di controllo).

Va inoltre considerato che, in genere, gli obiettivi definiscono indirettamente i costi dell'analisi in quanto questi dipendono dal grado di dettaglio che si vuole ottenere.

Due esempi molto comuni di obiettivi diversi tra loro, ma non necessariamente disgiunti, sono:

- a) valutazione dell'accettabilità del rischio per la popolazione esposta ai possibili effetti di incidenti interessanti uno stabilimento industriale nel suo insieme;
- b) valutazione della convenienza economica della sostituzione di un impianto di processo obsoleto.

Il caso a) potrebbe coincidere con l'obiettivo delle autorità deputate al controllo urbanistico del territorio, alla protezione dell'ambiente ed alla salute della popolazione.

In tal caso l'analisi dovrebbe accertare il rischio connesso all'insieme di tutti gli incidenti possibili e ragionevolmente credibili, che possono originare nel dato impianto.

Pertanto tutti gli impianti dello stabilimento dovrebbero essere analizzati al fine di evidenziarne i pericoli, di tutti gli scenari credibili individuati bisognerebbe valutare la probabilità, gli effetti e le conseguenze sulla popolazione esposta. A tal fine, bisognerebbe disporre quindi di informazioni sulla vulnerabilità della popolazione nell'area interessata dagli effetti degli incidenti.

Occorrerebbe infine esprimere il rischio in una forma tale da rendere applicabile un criterio di accettabilità, ad esempio prefissato per legge.

Un processo di questo tipo presenta, come vedremo parlando delle diverse tecniche di analisi e di calcolo del rischio, diverse difficoltà alcune delle quali concettuali e quindi difficilmente superabili se non a prezzo di qualche semplificazione o rinuncia.

Il caso b) è un caso classico di politica imprenditoriale finalizzata alla riduzione delle perdite economiche dovute alla mancata produzione derivante dall'obsolescenza dell'impianto.

Trattandosi dell'analisi di un singolo specifico impianto, tra i tanti presenti all'interno dello stabilimento, l'analisi riguarderebbe soltanto i pericoli e gli incidenti relativi ad esso; inoltre, dato il tipo di obiettivo le conseguenze da valutare sarebbero esprimibili tutte in termini economici facilitando così la quantificazione numerica del rischio.

Inoltre, fatto importante ai fini della rimozione del vizio di soggettività dell'analisi, dato il tipo di obiettivo, l'analista – dopo avere valutato con le stesse tecniche operative sia l'impianto obsoleto sia il nuovo impianto da realizzare – potrebbe esprimere una conclusione in termini di differenziale di rischio e non in termini di rischio assoluto come nel caso a) dove addirittura si vorrebbe pervenire ad un valore assoluto rappresentativo del rischio.

E' infine intuibile come i due obiettivi comportino, a parità di grado di approfondimento e quindi di incertezza del risultato, budget differenti a causa sia dell'estensione sia del tipo di analisi necessaria.

Identificazione dei pericoli

Come abbiamo detto precedentemente per pericolo intenderemo

- una condizione fisica o chimica recante il potenziale di danneggiare fisicamente le persone, le cose o l'ambiente
- una combinazione di sostanze pericolose, condizioni operative e circostanze non pianificabili che possono far insorgere uno o più incidenti.

La prima definizione si riferisce alle sostanze, mentre la seconda si riferisce ad un sistema più o meno complesso, quali potrebbero essere un deposito o un impianto di processo.

L'identificazione dei pericoli consiste in un processo di indagine finalizzato a concludersi con l'indicazione esaustiva delle sostanze, dei sistemi, dei processi, delle caratteristiche d'impianto che possono produrre conseguenze indesiderabili attraverso l'insorgere di un incidente.

Come si può notare, tale definizione diventa operativa solo nel momento in cui si individuano le conseguenze indesiderabili da cui ci si vuole tutelare; viceversa, la definizione di pericolo rimarrebbe genericamente generica.

Pertanto, preliminarmente bisognerà individuare ed elencare le conseguenze indesiderabili.

Un elenco di tali conseguenze è quello che le classifica come conseguenze per l'uomo, per l'ambiente e danni economici.

Esaminando il problema più in dettaglio si possono individuare, ad esempio, le seguenti conseguenze:

UOMO	Danni alla salute dei consumatori
	Danni alla salute della comunità
	Danni alla salute dei lavoratori
	Perdita di posti di lavoro
	Effetti psicologici
AMBIENTE	Contaminazione dell'aria
	Contaminazione delle acque
	Contaminazione del suolo
	Danni specifici all'ecosistema
PATRIMONIO	Danni alla proprietà
	Perdite di prodotto
	Blocco della produzione
	Prodotti fuori specifica
	Perdita di quote di mercato
	Responsabilità civile e/o penale
	Perdita di immagine

Ciascuna delle categorie può essere ulteriormente suddivisa in modo da specificare meglio il tipo di danno risultante; così si può sicuramente fare riferimento ai diversi tipi di esposizione che possono causare danni alla salute, quali ad esempio:

- esposizione a sostanza tossica
- esposizione ad effetti termici
- esposizione ad onde di pressione
- esposizione a proiettili
- esposizione ad effetti elettrici.

E' utile osservare che quanto più precisamente sono individuate le conseguenze tanto più facilmente saranno individuabili le sorgenti di pericolo.

Ad esempio potrebbero esserci centinaia di pericoli causa di conseguenze per la salute umana ma soltanto alcuni di questi rilevanti ai fini della tutela della salute dei consumatori.

Quanto detto è una conferma del fatto che l'analisi, a partire dalla identificazione dei pericoli, risente degli obiettivi prefissati.

Una volta definite le conseguenze di interesse, l'analista può analizzare i sistemi, i processi, le caratteristiche d'impianto.

Le tecniche di analisi ideali dovrebbero essere sufficientemente potenti da consentire l'individuazione di tutti i pericoli rilevanti per le conseguenze di riferimento.

I metodi comunemente usati per l'identificazione dei pericoli utilizzano l'analisi delle proprietà delle sostanze coinvolte nei processi e delle condizioni di processo, l'esperienza di processo dell'industria, lo sviluppo di matrici di interazione.

Proprietà delle sostanze

Una parte considerevole dell'insieme d'informazioni necessarie all'identificazione dei pericoli sono le caratteristiche delle sostanze presenti nell'attività e le loro condizioni d'impiego.

Si riportano di seguito le caratteristiche utili ai fini della valutazione della pericolosità delle sostanze.

Proprietà fisiche:

- punto di congelamento
- coefficiente di espansione
- punto di ebollizione
- solubilità
- tensione di vapore
- densità
- corrosività
- calori specifici

Proprietà chimiche:

- reazioni utilizzate
- reazioni secondarie
- reazioni di decomposizione
- cinetica
- impurità
- prodotti di decomposizione
- incompatibilità con altre sostanze

Stabilità:

- alle sollecitazioni meccaniche
- termica
- alla luce
- tendenza a polimerizzare

Infiammabilità:

- limiti di infiammabilità
- parametri dell'esplosione della polvere
- energia minima d'ignizione
- punto d'infiammabilità
- punto di autoaccensione
- potere calorifico

Tossicità acuta:

- inalazione
- orale
- contatto

Tossicità cronica:

- inalazione
- orale
- contatto

Cancerogenicità

Mutagenicità

Teratogenicità

Limiti di esposizione:

- TLV
- STEL
- IDLH

Biodegradabilità

Tossicità acquatica

Persistenza nell'ambiente

Le informazioni sono riportate nelle schede di sicurezza predisposte secondo la legislazione vigente in materia di sostanze pericolose.

Le informazioni contenute nella scheda di sicurezza consentono di effettuare una prima identificazione dei pericoli, semplicemente confrontando le caratteristiche della sostanza con dei valori di riferimento.

Ad esempio se l'analisi preliminare delle conseguenze indesiderate ha evidenziato anche i danni alla salute per effetti termici da incendio, si può valutare la pericolosità intrinseca della sostanza considerando i valori dei parametri legati all'infiammabilità.

Ovviamente questa è una valutazione cui deve seguire l'identificazione specifica dei pericoli in quanto, come si è detto, la pericolosità del sistema dipende anche da altri fattori quali, ad esempio, le condizioni operative.

Così una sostanza combustibile quale per esempio un olio termovettore, malgrado abbia una temperatura d'infiammabilità elevata, configura un pericolo nel momento in cui viene utilizzato in un circuito di riscaldamento a temperature superiori al punto d'infiammabilità.

In definitiva, se interessano gli effetti dell'incendio, l'analista potrebbe classificare tutte le sostanze in base alle loro caratteristiche di infiammabilità e quindi approfondire l'indagine dei sistemi che utilizzano dette sostanze.

Condizioni di processo

Talvolta, le condizioni di processo costituiscono esse stesse sorgenti di pericolo e/o fattori di esaltazione dei pericoli associati alle caratteristiche delle sostanze utilizzate.

Ad esempio, l'acqua non è classificata come sostanza avente caratteristiche intrinseche di pericolosità per esplosione. Tuttavia, se un processo si svolge a temperatura e pressione superiori al punto di ebollizione dell'acqua, una repentina depressurizzazione determina un pericolo immediato di esplosione di vapore.

Una volta considerate le condizioni di processo, l'analista potrebbe scartare alcune sostanze dalle valutazioni successive in quanto esse nelle specifiche condizioni potrebbero non comportare un pericolo.

Ad esempio, potrebbe essere il caso di una sostanza con punto d'infiammabilità superiore a 400°C, utilizzata solo a pressione atmosferica e temperatura ambiente.

Con riferimento a questi esempi è bene però fare mente locale sul fatto che le condizioni di processo cui ci si deve riferire durante l'identificazione dei pericoli non sono solamente quelle ordinarie ma anche, se non principalmente, quelle che possono insorgere in seguito ad anomalie di vario tipo.

I seguenti ulteriori tre esempi mostrano come le proprietà delle sostanze e le condizioni operative debbano essere combinate per identificare i pericoli originanti dal processo:

- Una sostanza infiammabile è utilizzata in un impianto inertizzato con azoto; sono necessarie ulteriori valutazioni del pericolo d'incendio, in quanto sussistono potenziali condizioni

anomaliche possono determinare il contatto tra la sostanza infiammabile e l'aria.

- Un combustibile liquido è trattato ad alta pressione; sono necessarie ulteriori valutazioni del pericolo d'incendio, in quanto si potrebbe avere l'emissione in aria sotto forma di spray con conseguente formazione di miscela infiammabile.
- Un processo chimico è condotto a bassa pressione e bassa temperatura; sono necessarie ulteriori valutazioni del pericolo di esplosione, in quanto potrebbe verificarsi una decomposizione chimica di uno dei reagenti a causa di un aumento di temperatura non controllabile.

Esperienza dell'industria

Il gestore deve mettere a disposizione l'esperienza maturata durante l'esercizio dell'attività o di attività simili in quanto gli eventuali incidenti avvenuti ed i problemi verificatisi nel passato dimostrano l'esistenza dei corrispondenti pericoli.

A tal proposito è utile anticipare come anche piccoli inconvenienti, a volte apparentemente insignificanti, possano diventare eventi iniziatori o propagatori delle sequenze incidentali (tali circostanze sono identificabili e valutabili applicando i metodi per la valutazione dei pericoli).

Tuttavia, non sarebbe corretto basare l'identificazione dei pericoli esclusivamente sull'esperienza aziendale, in quanto molti pericoli potrebbero non essere evidenziati.

Assumere che un evento non può accadere perché non è mai accaduto è un approccio assolutamente non corretto.

L'esperienza storica può ritenersi usata correttamente quando aiuta a creare una base di conoscenze relativa alle attività svolte.

Nel caso delle attività di processo, l'analista deve sempre partire dalle relative conoscenze chimiche di base.

I laboratori chimici aziendali possono effettuare attività di supporto per evidenziare le caratteristiche fisiche, chimiche, tossicologiche, cinetiche - delle sostanze e dei processi di trasformazione - utili per l'identificazione e la valutazione dei pericoli specifici.

Inoltre, possono essere effettuate sperimentazioni in impianti pilota al fine di evidenziare i prodotti secondari di reazione, l'effetto di eventuali contaminanti, le condizioni operative che si instaurano a seguito di deviazione dalle condizioni ordinarie.

Nel caso di processi scientificamente e tecnicamente consolidati, si potrà fare riferimento ai pericoli in precedenza individuati in impianti simili.

Riguardo all'utilizzabilità dell'esperienza va evidenziato che se, per motivi organizzativi, tale esperienza è stata registrata

e documentata, essa potrà essere usata come qualsiasi altra fonte di dati per l'individuazione dei pericoli.

Viceversa, andrà creato un gruppo di persone accomunate dall'esperienza maturata nel settore.

Dette persone potranno dare un giudizio, concordante o discordante, sui pericoli individuati mediante le altre tecniche.

Matrici di interazione

E' una tecnica semplice, utile ad individuare l'interazione tra i diversi parametri significativi, quali le sostanze, le sorgenti di energia, le condizioni ambientali, pressione, temperatura, materiali di costruzione.

Costituisce un approccio strutturato all'identificazione dei pericoli.

Con tale tipo di tecnica ci si limita a valutare, al massimo, l'interazione tra due o tre parametri e tutti gli altri, in quanto il numero delle potenziali interazioni aumenta molto rapidamente al crescere del numero di parametri coinvolti.

Nella matrice d'interazione l'asse orizzontale reca i parametri di riferimento ed altre informazioni complementari, mentre l'asse verticale riporta tutti i parametri che possono interagire con i parametri di riferimento.

In genere si costruiscono più matrici, ognuna delle quali viene riferita a determinate condizioni di processo.

Una volta costruita la matrice, l'analista esamina le conseguenze potenziali associate ad ogni interazione.

Il risultato di questo tipo di analisi può essere confrontato con le conseguenze di interesse, che come abbiamo detto vanno definite preliminarmente, al fine di individuare quali sono i pericoli da considerare per i successivi approfondimenti.

Un tipico esempio di matrice di interazione è costituito dalle tabelle di compatibilità delle sostanze chimiche.

Tecniche di valutazione dei pericoli

Le tecniche di tipo qualitativo utilizzate nella fase di valutazione dei pericoli possono essere utilizzate anche in questa fase di identificazione dei pericoli.

In particolare le più usate sono la "Check list Analysis", la "What-if Analysis", la "What-if/Check list Analysis" e la "HAZOP Analysis".

Tali tecniche verranno descritte più avanti, quando parleremo appunto della valutazione dei pericoli.

In ogni caso i risultati dipendono dal tipo e dalla qualità delle informazioni utilizzate.

Espressione dei risultati

Usualmente l'identificazione dei pericoli si conclude in semplici liste di sostanze o condizioni che possono determinare l'insorgere di una situazione pericolosa, cioè di una situazione che può concretizzare conseguenze indesiderabili.

In generale tali liste possono essere:

- liste di sostanze infiammabili
- liste di sostanze tossiche
- liste di reazioni pericolose
- liste di pericoli (infiammabilità, tossicità, eccetera) associati con un dato sistema
- liste di contaminanti e/o condizioni di processo che possono condurre a reazioni fuggitive

Tale risultato viene utilizzato dall'analista per definire la portata e le tecniche da utilizzare per la successiva fase di valutazione dei pericoli.

In generale, la portata e la complessità di detta valutazione è proporzionale al numero ed ai tipi di pericoli identificati nonché alla profondità di comprensione che di essi si vuole ottenere.

Valutazione dei pericoli

Una volta identificati i pericoli si può passare a valutarne l'importanza; più precisamente si valuterà l'importanza delle situazioni pericolose associate con le attività svolte.

Tale analisi è in genere condotta mediante l'uso di tecniche qualitative volte ad identificare le carenze che possono determinare l'insorgere di un incidente.

Ecco di seguito un elenco delle principali tecniche disponibili:

- Safety Review
- Lista di controllo
- Metodo ad indici
- What-if
- HAZOP
- FMEA
- Albero di guasto
- Albero degli eventi
- Analisi cause - conseguenze
- HRA

Ognuna delle tecniche sopra elencate ha i suoi punti di forza e le sue debolezze e la corretta scelta del metodo è un fattore critico per la riuscita dell'analisi.

Ovviamente, solo la conoscenza specifica delle diverse tecniche può portare l'analista alla scelta ottimale. A tal fine può essere utile qualche indicazione di carattere generale.

Preliminarmente, è appropriato e necessario che vengano definiti gli obiettivi dello studio, il tipo e la finalità delle informazioni che lo studio dovrà produrre, nonché le risorse e le linee guida per effettuare la valutazione dei pericoli. Tali requisiti dovrebbero costituire un insieme predefinito dall'utente dell'analisi.

Disponendo delle suddette informazioni, lo specialista potrà scegliere l'analisi più appropriata per soddisfare le condizioni predefinite. La scelta si basa più sull'esperienza e molti fattori possono influenzarla;

ad esempio:

- le motivazioni per l'analisi
- il tipo di risultati che si vogliono ottenere
- il tipo di informazioni disponibili per l'analisi
- la percezione dei rischi associati all'attività
- le risorse disponibili
- le preferenze dell'analista
- le preferenze dell'utente dell'analisi

Ad esempio, se determinati fattori portano l'analista a decidere che la tecnica ottimale in una particolare situazione sia l'albero dei guasti ma non sono disponibili i diagrammi dettagliati di processo (necessari per definire il sistema e le caratteristiche di guasto) egli dovrà utilizzare una tecnica che non necessita di dette informazioni.

Passiamo adesso ad esaminare le caratteristiche principali delle diverse tecniche; in particolare metteremo in evidenza gli scopi, i tipi di risultati prodotti e le risorse richieste da ciascuna di esse.

Safety Review

È la tecnica applicata da più tempo.

Ha come obiettivo l'identificazione delle condizioni d'impianto e delle procedure operative che possono determinare l'insorgere di incidenti con conseguenze del tipo di quelle fissate preliminarmente alla fase di identificazione dei pericoli.

Lo scopo dell'analisi è quello di assicurare che l'impianto e le sue condizioni operative e di manutenzione siano compatibili con gli standard adottati in fase di progetto e di costruzione.

Essi sono ad esempio relativi al mantenimento della coscienza dei pericoli nel personale, al riesame delle procedure operative per il loro miglioramento, all'individuazione dei cambiamenti di processo che possono introdurre nuovi pericoli, all'applicazione di nuove tecniche per il controllo dei pericoli.

La documentazione necessaria consiste di tutte le norme utilizzate per la progettazione, le descrizioni dettagliate dell'impianto, i P&IDs, gli schemi di flusso, le procedure operative di avvio, di blocco, di emergenza, i rapporti sugli incidenti verificatisi e le relative conseguenze, le schede di sicurezza delle sostanze presenti nell'impianto.

Per gli impianti esistenti lo studio si può concretizzare in ispezioni informali, in esami visivi di routine, ovvero in esami formali attuati da un apposito gruppo che possono impegnare anche per diverse settimane. Nel caso invece di impianti in fase di progetto, un apposito gruppo può procedere collegialmente alla revisione dei disegni.

Usualmente con questo tipo di analisi si riesce a focalizzare l'insieme delle situazioni di maggior pericolo.

I risultati dello studio consistono nella descrizione qualitativa dei possibili problemi di sicurezza e nell'indicazione delle possibili misure correttive.

Dopo avere completato lo studio, l'analista stila una lista di raccomandazioni che reputa necessario siano intraprese ai fini del raggiungimento o mantenimento degli obiettivi di sicurezza; l'esito delle azioni correttive può quindi essere valutato con ispezioni successive.

Lista di controllo

Lo scopo principale di questa tecnica è quello di assicurare che l'organizzazione da valutare operi secondo pratiche standard.

A volte viene usata congiuntamente ad un'altra tecnica, tipicamente l'analisi "What-if", per valutare pericoli altrimenti non rilevabili.

Un altro uso utile delle liste di controllo può essere quello orientato a far familiarizzare il personale non esperto con il processo trattato.

La tecnica prevede la verifica dello stato di un sistema mediante l'uso di una lista organizzata secondo passi da eseguire in successione.

Per creare una lista di controllo, l'analista fissa una serie di standard di progetto ed operativi, definendoli direttamente o assumendo quelli esistenti; rispetto ad essi, egli genera una serie di domande basate su differenze o deficienze della situazione analizzata.

Le domande avranno risposte del tipo "Sì", "No", "Non applicabile", "Sono necessarie ulteriori informazioni".

Le informazioni necessarie all'applicazione di questa tecnica sono la lista di controllo appropriata, le procedure di progetto, il manuale delle procedure operative e la disponibilità di un esperto della situazione in esame.

Il grado di risoluzione della tecnica può essere calibrato dall'analista in funzione degli obiettivi.

L'efficacia è in genere limitata dall'esperienza dell'autore, anche se possono essere redatte liste di controllo basate su norme, regolamenti e standard di buona tecnica.

In genere il risultato dell'analisi consiste in un giudizio di aderenza o di non aderenza della situazione esaminata agli standard sui quali è basata la lista di controllo.

Inoltre, la conoscenza delle deficienze riscontrate consente all'analista di suggerire i miglioramenti da apportare alla situazione esaminata per ridurre i pericoli.

What-if

"Cosa succede se ... ?"

Lo scopo di quest'analisi è quello di identificare pericoli, situazioni pericolose o incidenti che possono produrre conseguenze indesiderate.

E' un'analisi che viene effettuata con una tecnica di gruppo; questo è assortito con persone cui il processo è familiare. I diversi soggetti partecipanti alla sessione di brainstorming rivolgono al gruppo delle domande, appunto del tipo "Cosa succede se ?", concernenti possibili eventi non desiderati.

Le domande sono formulate in base all'esperienza dei partecipanti su descrizioni del processo e disegni d'impianto.

Il metodo richiede la conoscenza dei processi e delle procedure operative, ma anche la capacità di combinare mentalmente le possibili deviazioni (del funzionamento dell'attività dalle condizioni di progetto) che possono determinare un incidente.

Dal punto di vista delle informazioni necessarie, è una tecnica molto flessibile in quanto può essere utilizzata in ogni momento dello sviluppo dell'attività ed usare le informazioni e le risorse al momento disponibili.

A differenza di altri tipi di analisi, quali la HAZOP o la FMEA, non è una tecnica strutturata.

Inizialmente tutte le domande formulate durante la discussione vengono registrate su una lavagna o su un elaboratore di testi; possono anche essere inserite interviste realizzate con persone non facenti parte del gruppo.

Quindi le domande sono raggruppate in funzione delle diverse aree di indagine, generalmente relative alle diverse conseguenze di interesse, del tipo incendi, sicurezza

elettrica, eccetera. Successivamente ogni area è indirizzata agli esperti del ramo.

Nella sua forma più semplice la "What-if Analysis" genera una lista di domande e risposte inerenti l'attività. Essa può poi dare luogo in una lista tabellare di situazioni di pericolo, delle relative conseguenze, delle misure di sicurezza e delle possibili opzioni per la riduzione del rischio.

HAZOP (hazard and operability analysis)

La tecnica HAZOP è stata sviluppata sia per la identificazione e valutazione dei pericoli sia per l'identificazione dei problemi che possono compromettere la produttività dell'impianto.

Scopo dello studio è la revisione sistematica del processo e delle operazioni. La tecnica può essere utilizzata per processi batch o continui e può essere adattata per valutare procedure operative scritte.

L'uso di questa tecnica è subordinato alla disponibilità di tutte le informazioni di dettaglio relative al progetto ed alla operatività del processo. Tuttavia è utilizzata per valutazioni da eseguire sia preliminarmente che successivamente alla fase di progettazione particolareggiata dell'impianto.

E' un approccio sistematico, condotto da un gruppo composito di soggetti, che porta alla individuazione dei pericoli e dei problemi operativi dell'impianto, derivanti da deviazioni dal normale funzionamento che possono portare conseguenze indesiderabili.

Un leader guida il gruppo nell'analisi utilizzando un insieme predefinito di parole chiave chiamate "parole guida". Queste parole sono applicate, in corrispondenza di specifici punti detti nodi di studio, combinandole con specifici parametri di processo in modo da individuare le possibili deviazioni di funzionamento.

Ad esempio la parola guida "No" combinata con il parametro di processo "Portata" conduce alla deviazione "Nessuna portata".

A volte il leader usa delle liste di controllo o l'esperienza di processo per aiutare il gruppo a sviluppare le necessarie liste di deviazioni.

Il gruppo quindi concorda sulle possibili cause della deviazione (ad es. blocco della valvola a valle della pompa), le conseguenze della deviazione (ad es. aumento di pressione alla pompa) e sulle misure di salvaguardia applicabili (ad es. valvola di sovrappressioni sul circuito di scarico della pompa). Se le cause e le conseguenze sono significative e le salvaguardie inadeguate, il gruppo può elaborare una raccomandazione da sottoporre all'utente dell'analisi.

In alcuni casi il gruppo potrebbe individuare le cause di una deviazione ma non le conseguenze; in tal caso suggerirà l'esecuzione di uno studio di approfondimento per la valutazione delle conseguenze.

Il risultato dello studio consiste nell'enumerazione delle possibili deviazioni e la specificazione delle possibili cause, conseguenze e relative salvaguardie disponibili.

FMEA (failure modes and effects analysis)

L'analisi dei modi di guasto e degli effetti ha lo scopo di identificare le modalità dei guasti di singole apparecchiature o sistemi ed i conseguenti effetti sull'impianto. L'analisi in genere è finalizzata a generare delle raccomandazioni per l'incremento dell'affidabilità dei sistemi.

Il modo di guasto descrive come un'apparecchiatura non funziona, cioè quale tipo di funzionamento non corretto o non funzionamento la interessa (chiusa, aperta, perdente, eccetera.). In genere, questo tipo di strumento non è utilizzato per esaminare gli effetti degli errori umani..

L'effetto del modo di guasto è determinato invece dalla risposta del sistema in esame.

La FMEA permette di generare una lista sistematica di guasti e conseguenti effetti. L'analisi individua i modi di guasto di singole apparecchiature che possono contribuire alla generazione o propagazione di una sequenza incidentale. Tuttavia, non è uno strumento adeguato alla identificazione esaustiva della lista di combinazioni di guasti che possono portare ad un incidente.

Il metodo richiede la conoscenza della lista delle apparecchiature e dei sistemi dell'impianto, o i P&IDs, la conoscenza del funzionamento delle apparecchiature e delle relative modalità di guasto nonché la risposta dell'impianto ai guasti delle apparecchiature.

In genere i risultati dell'analisi sono espressi dall'analista in forma tabellare e possono comprendere i suggerimenti per il miglioramento della condizioni di sicurezza.

Albero di guasto (fault tree)

Lo scopo della redazione degli alberi di guasto è quello di identificare e/o rappresentare le combinazioni dei guasti delle diverse apparecchiature e degli errori umani che possono determinare un incidente.

E' una tecnica di analisi particolarmente efficace nel caso di sistemi molto ridondanti. Invece, per sistemi molto vulnerabili a seguito di singoli guasti è più indicato l'uso di tecniche quali la FMEA o la HAZOP.

Gli alberi di guasto sono inoltre usati laddove una precedente tecnica, spesso la HAZOP, abbia già condotto alla identificazione sistematica di incidenti che a causa della loro importanza richiedono un particolare approfondimento.

Lo sviluppo degli alberi di guasto necessita di una comprensione dettagliata del funzionamento dell'impianto o del sistema da analizzare, i disegni e le procedure relativi al processo, la conoscenza dei modi di guasto dei componenti ed i relativi effetti. E' una tecnica che può essere sviluppata anche da un singolo analista, ma il modello risultante dev'essere valutato da ingegneri, operatori di processo ed altro personale con specifica esperienza sui sistemi oggetto dell'analisi.

La fault tree analysis produce come risultato un sistema logico capace, mediante l'algebra booleana, di evidenziare come i guasti e gli errori umani possono combinarsi e dare luogo ad un guasto principale (chiamato top event).

Dall'analisi di un processo notevolmente complesso possono essere generati molti modelli di alberi. Il numero di modelli dipende da quanto l'analista è stato selettivo nello scegliere i top events di interesse.

L'analisi usualmente risolve ogni modello logico per generare una lista di guasti, chiamati insiemi minimi di taglio (minimal cut sets), che combinati comportano l'incidente. La lista degli insiemi minimi di taglio può essere ordinata qualitativamente per numero e tipo di guasti coinvolti in ogni insieme.

Gli insiemi minimi di taglio contenenti un elevato numero di guasti sono generalmente meno probabili di quelli contenenti un piccolo numero di guasti.

L'esame di questi insiemi rivela la vulnerabilità e le debolezze dei sistemi analizzati e l'analista può quindi suggerire gli opportuni miglioramenti ai fini della sicurezza.

Alberi degli eventi (event tree)

Un albero degli eventi mostra graficamente i possibili risultati di un incidente derivante da un evento iniziale predefinito quale un guasto di un'apparecchiatura o un errore umano.

La tecnica permette di evidenziare la presenza o meno delle risposte dei sistemi di sicurezza e degli operatori al procedere della sequenza incidentale.

La rappresentazione della sequenza incidentale degli eventi conseguenti quello iniziale, composta dall'insieme dei guasti e delle indisponibilità, è proprio il risultato dell'analisi.

Questo tipo di tecnica è efficace per l'analisi di processi complessi dotati di sistemi di sicurezza e procedure di emergenza su diversi livelli aventi lo scopo di rispondere agli effetti dell'evento iniziatore.

Dopo che le sequenze incidentali sono state identificate con gli alberi degli eventi, le specifiche combinazioni dei guasti coinvolti possono essere determinate usando la tecnica degli alberi dei guasti.

Lo sviluppo di un modello mediante l'albero degli eventi necessita della conoscenza dei possibili eventi iniziatori, della conoscenza dei sistemi di sicurezza e delle procedure di emergenza finalizzati alla mitigazione degli effetti.

Può essere sviluppata dal singolo analista purché esso abbia una buona conoscenza del sistema. Tuttavia, un gruppo composto da due a quattro persone è preferibile in quanto con la tecnica del brainstorming consente di ottenere alberi degli eventi più completi.

Analisi cause-conseguenze

È una tecnica mista, derivata accoppiando gli event-tree ed i fault-tree.

Uno dei punti di forza di questa tecnica è quello della elevata capacità comunicativa. Un diagramma cause-conseguenze rappresenta le relazioni tra i risultati degli incidenti (conseguenze) e le loro cause di base.

La tecnica è molto usata quando la logica di guasto degli incidenti analizzati è molto semplice di modo che la forma grafica, che combina l'albero degli eventi e l'albero dei guasti in un unico diagramma, non risulti eccessivamente confusa.

Per essere sviluppata necessita della conoscenza dei modi di guasto dei componenti e anomalie di processo che possono comportare incidenti, della conoscenza dei sistemi di sicurezza e delle procedure di emergenza che possono influenzare le conseguenze degli incidenti, della conoscenza dell'impatto conseguente i guasti possibili.

HRA (human reliability analysis)

L'analisi di affidabilità delle risorse umane è un metodo utilizzato per identificare i possibili errori umani ed i loro effetti, nonché le cause determinanti tali errori.

È un metodo sistematico di valutazione dei fattori che influenzano le prestazioni degli operatori, gli addetti alla manutenzione, i tecnici ed il personale di reparto.

La tecnica prevede l'analisi dei compiti assegnati ai diversi soggetti, in modo da descriverne le caratteristiche fisiche ed ambientali, la conoscenza, le capacità richieste.

La HRA identifica le situazioni dipendenti da errori che possono portare all'insorgere di incidenti.

È un tipo di valutazione che in genere affianca altre tecniche di valutazione, in quanto considera solo uno dei fattori di pericolo.

L'analisi necessita della conoscenza delle procedure operative, delle informazioni derivate da interviste col personale dell'impianto, della conoscenza del layout dell'impianto e della conoscenza dei sistemi di allarme.

Il risultato consiste in una lista di errori ritenuti possibili nelle fasi di emergenza o durante le normali fasi di gestione, i fattori che contribuiscono a tali errori, le proposte di modifiche da apportare al sistema per ridurre la probabilità attesa degli errori medesimi.

I risultati in genere sono qualitativi, ma possono essere quantificati.

Metodo ad indici

Più che una tecnica ben definita, i metodi ad indici possono definirsi come una strategia di analisi.

Questa strategia di analisi è basata sulle seguenti tre domande fondamentali dell'analisi del rischio:

- a) cosa può non funzionare ?
- b) perché ?
- c) quali possono essere gli effetti ?

In particolare queste tre domande sono utilizzate al fine di determinare l'importanza relativa dei processi e delle attività dal punto di vista dei pericoli, prima di utilizzare tecniche di analisi più impegnative e dispendiose.

Mediante questa strategia l'analista confronta le caratteristiche di diversi impianti al fine di determinare quali di questi sono caratterizzati da pericoli meritevoli di un'analisi più approfondita.

Un altro obiettivo, raggiungibile con questa strategia nei casi in cui si può scegliere tra diverse opzioni di realizzazione, è quello di definire, sempre mediante un confronto delle caratteristiche, quale sia la situazione progettuale, impiantistica, di localizzazione sul territorio, che garantisca il pericolo minore.

Il confronto tra le diverse situazioni si instaura sulla base di valori numerici che rappresentano il diverso livello di significatività che l'analista assegna ai diversi pericoli precedentemente identificati.

L'applicazione di questo tipo di studi, generalmente, ha senso nella prima fase della progettazione, prima che gli studi di dettaglio siano completati e la soluzione completamente definita.

Le informazioni necessarie dipendono dalle diverse implementazioni del metodo ed in genere comprendono le

caratteristiche delle sostanze utilizzate; non sono richiesti gli schemi di processo dettagliati ma il layout degli impianti, le condizioni di processo e le condizioni di stoccaggio delle sostanze.

Il risultato di questo tipo di studi consiste in una lista ordinata di processi, apparecchiature, operazioni ed attività. Questa lista può essere organizzata per strati in modo da evidenziare diversi livelli di significatività.

Altri risultati, quali indici, punteggi, grafici, eccetera, dipendono dalle particolari tecniche utilizzate per effettuare il confronto.

E' importante evidenziare che, anche se il metodo è basato sul tentativo di risposta alle tre domande della "risk analysis", i risultati non costituiscono affatto una stima del rischio associato all'attività.

In letteratura sono disponibili diversi metodi di questo tipo. Uno dei più conosciuti è il "Fire and Explosion Index" (F&EI) finalizzato alla valutazione della esistenza e della significatività dei pericoli di incendio ed esplosione in aree attrezzate molto vaste.

In Italia il D.P.C.M. 31.3.89 definisce e prescrive l'uso di un metodo ad indici, nell'ambito del rapporto di sicurezza che il gestore è tenuto a predisporre, con lo scopo di individuare le aree caratterizzate dai pericoli maggiori.

Diversamente, il metodo è utilizzato per definire un criterio di compatibilità territoriale - quindi di accettabilità del rischio - nel caso dei depositi di gas di petrolio liquefatto, dei depositi di sostanze liquide, tossiche e/o infiammabili, e degli scali ferroviari con presenza di sostanze pericolose.

A conclusione di questa carrellata è utile fare alcune considerazioni riguardo alle tecniche descritte.

Le tecniche di valutazione dei pericoli possono apportare un grande beneficio all'organizzazione che ne fa un uso estensivo e sistematico.

Come risultato di questi studi l'analista acquisisce una conoscenza approfondita dei pericoli caratterizzanti un impianto ed è in grado di formulare dei suggerimenti per la riduzione del rischio che il gestore potrà implementare.

Inoltre si verificano degli effetti positivi secondari quali la riduzione dei costi operativi, una maggiore qualità del lavoro e dei prodotti, una maggiore confidenza del management con i pericoli ed il loro controllo. Tuttavia affinché si abbiano questi benefici non basta sviluppare una valutazione dei pericoli corretta; occorre che essa sia ben documentata ed efficacemente illustrata al management.

Inoltre per trarre il massimo vantaggio dall'uso dei risultati della valutazione dei pericoli si dovrebbe:

- caratterizzare gli interventi da attuare con dei livelli di priorità;
- sviluppare un'efficace risposta del management ai risultati;
- attuare con tempestività le azioni risultanti dalle decisioni relative alla gestione del rischio.
- informare i lavoratori interessati dei miglioramenti implementati e dei corrispondenti obiettivi conseguiti.

Stima delle conseguenze

Faremo adesso una carrellata delle principali tecniche di valutazione delle conseguenze.

E' utile premettere che con il termine conseguenza si intende una misura degli effetti o dei danni che ci si attende siano prodotti da un incidente.

Ricordiamo che il tipo di conseguenze di interesse deve essere definito preliminarmente alla fase di identificazione dei pericoli perché il pericolo rimane definito solo se è inteso come la possibilità che si verifichino delle conseguenze indesiderate.

Pertanto, dopo che l'analista - con le tecniche di valutazione dei pericoli - avrà individuato i possibili scenari incidentali attraverso i quali si possono concretizzare le conseguenze indesiderate, quantificherà queste ultime non solo in termini qualitativi e descrittivi, come nella prima fase, ma in termini quantitativi.

Ciò è funzionale sia ai fini di una migliore caratterizzazione dei pericoli, sia alla valutazione in termini quantitativi o semiquantitativi del rischio.

Le tecniche da utilizzare sono di tipo quantitativo e consistono nell'applicazione di modelli matematici che partendo da una serie di dati di ingresso, li elaborano e restituiscono un risultato.

Circa il significato di tali grandezze risultanti, quindi circa le conseguenze valutate, è necessaria un'ulteriore precisazione. Come si vedrà nell'esame dei modelli disponibili, la valutazione delle conseguenze è scomponibile dal punto di vista logico in due fasi.

Infatti i modelli matematici che simulano i fenomeni fisici che si instaurano alla fine della sequenza incidentale, cioè in genere al momento del "top event", consentono di calcolare l'entità degli effetti che tali fenomeni manifestano.

Così, ad esempio, un modello matematico simulante l'incendio di una pozza di liquido infiammabile potrà fornire come risultato il flusso termico nello spazio circostante al variare della distanza; ossia la misura attesa, in quelle determinate condizioni, di una grandezza fisica.

Viceversa i suddetti modelli non consentono di valutare i danni alla salute dell'uomo, ai beni ed all'ambiente.

Pertanto dovrà esserci una seconda fase della valutazione delle conseguenze nella quale, partendo dagli effetti fisici calcolati (flusso termico, concentrazione di sostanza tossica nell'aria, nell'acqua o nel terreno, pressioni massime,) si dovranno calcolare le conseguenze in funzione degli obiettivi dell'analisi di sicurezza (ad esempio la funzionalità residua di un impianto o i danni per la salute degli individui esposti).

Tale seconda valutazione potrà essere effettuata in modi diversi a seconda delle tecniche disponibili, del tipo di conseguenza.

Ad esempio, ipotizziamo che l'incidente evolva in un incendio di pozza e che l'obiettivo di riferimento sia la valutazione del rischio nei confronti del patrimonio immobiliare.

In tale caso andrà valutata la conseguenza dell'impatto del flusso termico (proveniente dalla fiamma) sulle strutture edilizie circostanti. Tale determinazione si potrà fare mediante un ulteriore modello fisico in grado di simulare la perdita di resistenza delle strutture per effetto delle alte temperature; in alternativa, se un modello di questo tipo non è disponibile, si potrà fare ricorso alla applicazione di un criterio di vulnerabilità che associ alla sollecitazione termica calcolata le conseguenze (del tipo ricercato) sulla struttura.

Un altro esempio può farsi con riferimento alla dispersione di una sostanza tossica conseguente un incidente in un deposito. Se l'obiettivo dell'analisi è la valutazione dei rischi per la popolazione esposta ad eventuali rilasci, la conseguenza di riferimento sarà il danno alla salute che detta popolazione subisce a seguito di un'esposizione acuta.

In questo caso la prima fase di analisi, svolta utilizzando ad esempio un modello matematico per la simulazione della dispersione in atmosfera di una sostanza gassosa, consentirà di stimare la concentrazione di gas tossico presente nello spazio in funzione del tempo.

Nella seconda fase valutativa si dovranno stimare – in base ad un criterio di vulnerabilità – i danni attesi sulla popolazione a seguito dell'esposizione alle concentrazioni di gas tossico precedentemente calcolate.

Si può intuire che, mentre la stima quantitativa delle grandezze relative agli effetti prodotti dai fenomeni fisici sullo spazio (flusso termico, concentrazioni di gas, eccetera) sono simulabili matematicamente sia pure con molte incertezze dovute alla complessità computazionale o alla conoscenza dei parametri, la stima delle conseguenze sui sistemi biologici risulta particolarmente difficile ed in alcuni casi impossibile spesso per la complessità

concettuale, la mancata conoscenza dei fenomeni che a seguito di un effetto fisico conducono ad un danno biologico, la mancanza di dati statistici di tipo epidemiologico.

Pertanto, in generale, la seconda fase valutativa spesso è condizionale solo a costo di notevoli approssimazioni. Tali approssimazioni ed incertezze, unitamente a quelle che accompagnano la valutazione delle probabilità di accadimento degli incidenti ipotizzati, si riflettono sulla stima quantitativa del rischio riducendone spesso la attendibilità e la oggettività.

Le tecniche più diffuse possono essere raggruppate nel seguente modo:

- modelli sorgente
- modelli di dispersione
- modelli di incendi ed esplosioni
- modelli di danno

I primi tre gruppi attengono a quella che abbiamo definito come fase di valutazione degli effetti fisici, mentre il quarto gruppo è costituito dai modelli e criteri per la valutazione dei danni.

Ovviamente, mentre i primi tre gruppi sono generali in quanto indipendenti dagli obiettivi dell'analisi di sicurezza, l'assortimento del quarto gruppo non è definibile a priori in quanto in generale dipende strettamente dal tipo di conseguenze che si reputano indesiderate (in funzione degli obiettivi dell'analisi di sicurezza inizialmente prefissati).

Modelli sorgente

La simulazione delle sorgenti è utilizzata per valutare quantitativamente l'entità dei rilasci di sostanza associati agli scenari incidentali individuati nella fase di valutazione dei pericoli.

I modelli di questo tipo dovrebbero consentire il calcolo della portata rilasciata dal contenitore della sostanza e la quantità derivante dal flash o dall'evaporazione di una pozza di liquido.

Portata rilasciata da un'apparecchiatura di contenimento

Esistono diverse condizioni fisiche che definiscono il tipo di rilascio; esse in genere discendono dal fatto che la sostanza può essere contenuta sotto forma di liquido o aeriforme e che, a seguito del rilascio, può venirsene a trovare in una di queste diverse condizioni dopo aver subito o meno un cambiamento di stato fisico. Il fatto che si realizzi una o l'altra delle condizioni iniziali e finali possibili, ed un'eventuale transizione di stato, dipende dalle caratteristiche della sostanza, dalle condizioni operative di

contenimento e dalle condizioni dell'ambiente nel quale avviene il rilascio.

Le cause del rilascio devono essere note in quanto indagate nella valutazione dei pericoli; pertanto si conoscerà anche il tipo di rottura o di guasto interessante l'apparecchiatura di contenimento. Quest'ultima può essere di vario tipo; ad esempio: foratura di un contenitore o di una tubazione, apertura totale o parziale di una valvola, rottura di un disco di sicurezza.

Dal punto di vista della fenomenologia si possono distinguere rilasci in fase liquida, in fase vapore e bifasici con flash. Si possono inoltre distinguere rilasci di emergenza e rilasci imprevisti.

E' importante stabilire con precisione lo stato fisico durante il rilascio in quanto i metodi analitici di valutazione cambiano. Le condizioni fisiche all'interno del contenitore dipendono dalle condizioni, normali o deviate, di processo o di stoccaggio ed influenzano lo stato fisico della sostanza. Le condizioni all'esterno sono in genere di pressione atmosferica e temperatura ambiente.

In genere si assume che la sostanza subisca una trasformazione adiabatica nel passare dal contenitore all'ambiente.

Se lungo il percorso si verifica una transizione di fase vi sarà anche una parte di esso interessato da presenza di doppia fase e condizioni di flash. In tal caso la definizione del modello è più complessa.

Uno dei dati critici del problema è la dimensione del foro di uscita della sostanza.

Se il rilascio configura una situazione di emergenza prevista (ad esempio scarico da valvola di sicurezza), le dimensioni della bocca di efflusso sono definite in fase progettuale; viceversa, nel caso di rotture le dimensioni della bocca devono essere ipotizzate o stimate. Nel secondo caso la stima introduce un fattore di soggettività in quanto va in genere definita per via probabilistica; tale valutazione attiene pertanto alle tecniche di valutazione dei pericoli. In letteratura possono comunque trovare dei criteri guida.

In alcuni casi potrebbe essere significativa la dipendenza della portata rilasciata dal tempo trascorso dall'inizio del fenomeno in quanto questo può determinare una riduzione della pressione motrice.

Rilascio in fase liquida

L'efflusso di liquidi che si mantengono tali anche all'esterno è ben descritto dall'equazione di Bernoulli.

La portata effluente viene calcolata in funzione delle pressioni di monte e di valle, dell'area del foro e della forma di quest'ultimo.

Rilascio in fase gas

Bisogna valutare preliminarmente se il rilascio avviene in regime subsonico o sonico. Il fenomeno è determinato dalla differenza di pressione motrice; ad elevati salti di pressione si ha il regime sonico.

A tal proposito è definito un rapporto critico delle pressioni assolute di monte e di valle che consente di individuare la condizione di transizione da un regime all'altro. Tale rapporto dipende esclusivamente dal rapporto tra i calori specifici caratteristici della sostanza effluente.

In genere il rapporto critico tra la pressione di monte e quella di valle varia tra 1.7 e 2.

Nel rilascio di molti gas biatomici ($c_p/c_v = 1.4$) il rapporto critico, pari a 1.9, fa sì che per pressioni assolute nel contenitore superiori a 1.9 bar l'efflusso avvenga in condizioni soniche.

La portata di massa attraverso un orifizio si può calcolare in funzione della geometria della bocca, dell'area della bocca, della velocità sonica del gas (a sua volta dipendente dalla temperatura assoluta), dal peso molecolare, dalla temperatura assoluta a monte e da un fattore di efflusso che dipende dalle condizioni di sonicità o meno della corrente.

Rilasci bifasici

Ci si aspetta un rilascio in atmosfera bifasico quando si ha un liquido confinato in pressione a temperature superiori al suo punto di ebollizione (a pressione atmosferica) oppure quando avviene la depressurizzazione della fase vapore soprastante una massa liquida volatile.

Il fenomeno è molto complesso tanto che esistono programmi di calcolo automatico implementanti modelli che fanno un uso estensivo delle proprietà fisiche.

La portata di efflusso di liquidi sottoraffreddati o saturati può essere calcolata con semplici formule in funzione della pressione di monte, della tensione di vapore, della temperatura.

Nel caso di efflusso attraverso tubi con diametro inferiore a 100 mm, bisogna tenere conto, per mezzo di un apposito coefficiente, del fatto che la portata di flash aumenta molto al diminuire della lunghezza del tronchetto.

Flash ed evaporazione

I liquidi surriscaldati, nel momento in cui sono immessi in atmosfera sono interessati dal fenomeno di flash; quest'ultimo è definibile come una evaporazione molto rapida durante la quale una parte della massa rimane sotto forma di aerosol ed una parte ricade al suolo in forma liquida. Inoltre una frazione dell'aerosol, a contatto con l'aria calda, evapora e contribuisce a formare la nube di vapore o gas.

La pozza risultante presenta, all'interfaccia con l'atmosfera, una evaporazione che può portare a grandi emissioni di gas nel caso di sostanze molto volatili o liquidi criogenici bollenti. In alcuni casi addirittura la bollitura del liquido della pozza può essere talmente rapida che tutta la massa rilasciata entra a far parte della nube; in altri casi invece, se la temperatura del suolo è sufficientemente bassa, l'evaporazione da pozza è molto limitata.

La quantità di vapore e di liquido prodotta nella fase di flash può essere calcolata con i metodi della termodinamica. I modelli termodinamici possono essere sia di derivazione empirica sia pseudomeccanici e sono basati in sulle caratteristiche fisiche del liquido rilasciato e sulle proprietà termiche del substrato (terreno, pavimentazione o altro)

Sono disponibili modelli basati sui concetti di trasferimento di calore e di massa.

Le portate di vaporizzazione possono essere molto variabili in funzione del tempo; ad esempio, una pozza di liquido freddo su suolo caldo produrrà un'intensa ebollizione iniziale seguita da una lenta vaporizzazione man mano che il substrato si raffredda. Il fenomeno è inoltre influenzato dalla ventilazione e dall'energia solare.

Le dimensioni della nube di vapore che si forma a seguito dell'evaporazione spesso costituiscono l'input dei modelli di dispersione dei gas densi; tale risultato è di tipo empirico ed è prodotto solo da alcuni modelli di evaporazione.

Le portate evaporanti come si è detto possono essere stimate in diversi modi.

L'equazione standard per la stima della frazione di liquido vaporizzata durante il flash dipende dalla capacità termica del liquido, dalla temperatura iniziale, dal punto di ebollizione a pressione atmosferica e dal calore latente di vaporizzazione.

Tuttavia la frazione di liquido vaporizzata non è significativa a causa della formazione dell'aerosol che contribuisce all'alimentazione della nube. Da esperienze fatte si è visto che quando il liquido subisce il flash durante il rilascio, tutta la massa contribuisce ad alimentare la nube e non soltanto dalla frazione evaporata.

La presenza di aerosol ha inoltre diversi effetti significativi sulla successiva dinamica di dispersione della nube formata a seguito del rilascio. Tutti gli effetti riscontrati hanno come conseguenza finale l'aumento della densità della nube contenente anche l'aerosol.

La quantificazione dell'aerosol è attualmente effettuata mediante un approccio di tipo empirico.

Un approccio molto semplice consiste nel valutare la massa presente nella nube sotto forma di aerosol pari alla massa

evaporata, per cui la massa totale della nube è stimata pari al doppio della massa evaporata.

Un altro approccio, suggerito nel caso di rilasci liquidi con punto di ebollizione molto basso rispetto alla temperatura ambiente, è quello di considerare che tutta la massa vada ad alimentare la nube come evaporazione rapida senza ricaduta liquida al suolo o come combinazione di un flash immediato ed un successivo inglobamento di aerosol.

Modelli di dispersione

I modelli di dispersione vengono utilizzati per ricavare le concentrazioni, di sostanza rilasciata, nelle aree sottovento rispetto alla sorgente. Essi in genere utilizzano i risultati dei modelli di sorgente.

Possono essere definiti tre differenti tipi di rilascio;

dal punto di vista della durata i rilasci possono essere classificati come:

- istantanei
- continui
- variabili con continuità nel tempo

mentre, con riferimento alla densità dell'aeriforme rilasciato:

- neutri
- leggeri
- pesanti

La simulazione del fenomeno dev'essere effettuata mediante diversi modelli matematici, in funzione della casistica citata.

Il modello gaussiano descrive bene il comportamento dei gas neutri rilasciati nella direzione del vento e secondo la sua velocità. Per anni i rilasci istantanei e continui di gas neutri e leggeri sono stati studiati con questo modello. Una tipica applicazione di questo modello è quella relativo allo studio del comportamento sottovento dell'efflusso da una ciminiera.

Sono stati sviluppati anche diversi sofisticati modelli basati su esperimenti di pieno campo riguardanti i rilasci istantanei di gas densi.

Alcuni rilasci inoltre mostrano un comportamento intermedio tra quello di gas denso e quello gaussiano.

I fattori principali che influenzano il fenomeno sono la velocità del vento e la stabilità atmosferica che influenza i fenomeni di turbolenza. Il parametro usato per definire la stabilità atmosferica è il gradiente verticale di temperatura, ma si può arrivare ad approcci più sofisticati quali quelli basati sulle misure dirette di turbolenza.

La specificazione del grado di stabilità può essere effettuata mediante il confronto del gradiente termico con il rateo adiabatico (0.98°/ 100m) oppure mediante il ricorso alla classificazione di Pasquill.

Il grado di stabilità e le velocità del vento da prendere in considerazione vanno derivate dalle statistiche dei rilievi meteorologici disponibili per la zona su cui insiste il sito; in assenza di tali informazioni, generalmente si potrà fare riferimento alle coppie 5 m/s e classe di stabilità di Pasquill pari a "D" e 2 m/s con classe F. La prima coppia fa riferimento alla tipica condizione diurna e la seconda alla situazione notturna.

I dati meteorologici in genere sono rilevati a 10 m dal suolo. Nel caso delle dispersioni di gas pesanti occorre stimare la velocità corrispondente in prossimità del suolo; questa dipende dalla stabilità atmosferica e dalla scabrezza della superficie geografica.

L'insieme di dati per l'applicazione dei modelli di dispersione è costituito dalle condizioni iniziali della nube, quali la temperatura, il contenuto d'aerosol, la densità, la dimensione, la velocità e la massa,

Come si è detto in precedenza, questi parametri vengono stimati nel modello matematico che schematizza il flash e l'evaporazione.

Nei modelli di dispersione per gas densi, il problema è dominato da fattori quali l'accelerazione e la diluizione iniziali, la forza di gravità, la turbolenza degli ambienti.

I modelli utilizzati sono sia di tipo matematico, sia di tipo fisico.

I più comuni modelli matematici forniscono le caratteristiche medie della nube, quali posizione, altezza ed altro, senza scendere in una descrizione di dettaglio nello spazio occupato da essa.

I modelli fisici, sviluppati con l'impiego di gallerie del vento o canali idrici vengono usati per la simulazione di situazioni caratterizzate dalla presenza di terreni morfologicamente molto movimentati e con ostruzioni al deflusso della nube.

Modelli di incendi ed esplosioni

Mentre il concetto di incendio è abbastanza intuitivo, almeno in termini generali, conviene qui specificare il significato di esplosione. L'esplosione è il modo con cui si raggiunge l'equilibrio tra le elevate pressioni di un gas e l'ambiente nel quale esso si trova.

Affinché si abbia l'onda di pressione derivante dal fenomeno il riequilibrio delle pressioni deve essere sufficientemente rapido.

L'esplosione può essere un fenomeno esclusivamente fisico derivante ad esempio da una rottura catastrofica di un contenitore di gas ad alta pressione, ovvero un fenomeno di natura chimica quale per esempio la combustione di una nube di gas infiammabile ed aria. Inoltre, le esplosioni da combustione possono avvenire in ambiente confinato o in un ambiente non confinato.

Gli effetti di un'esplosione sono in genere l'aumento di pressione nello spazio, lancio di proiettili e gli effetti termici della combustione; in genere gli effetti meccanici sono predominanti rispetto a quelli termici.

Gli effetti di un incendio sono principalmente termici, ma anche legati alla produzione di fumi e gas tossici o asfissianti.

I fenomeni di esplosione ed incendio di cui si riescono a valutare e quantificare gli effetti sono i seguenti:

- UVCE
- Flash-fire
- Esplosione fisica
- BLEVE
- Esplosione confinata
- Incendio di pozza (pool-fire)
- Incendio di getto (jet-fire)

UVCE (Unconfined vapor cloud explosions) e flash fire

Quando una grande quantità di sostanza volatile infiammabile viene rilasciata in atmosfera, si forma una nube di vapori che inizia a disperdersi. Se la nube è sottoposta ad un innesco prima che il processo di diluizione determini una concentrazione minore del limite inferiore di infiammabilità, si verifica una esplosione non confinata oppure un flash fire.

La differenza tra i due fenomeni consiste nel fatto che l'esplosione produce oltre agli effetti termici anche gli effetti meccanici dovuti all'aumento di pressione generato nell'ambiente.

I motivi che determinano l'uno o l'altro fenomeno non sono ben conosciuti. L'analisi degli incidenti accaduti nel passato porta a concludere che se la massa di vapore è modesta insorge il flash fire senza aumenti di pressione significativi; malgrado il nome, altre esperienze ed alcuni lavori sperimentali indicano che affinché possano insorgere danni significativi da sovrappressioni è necessario un certo grado di confinamento ed una certa turbolenza nella nube. Altre indicazioni subordinano l'esplosione al superamento di un certo valore critico della dimensione della nube.

In generale i modelli di UVCE sono più sviluppati dei modelli di flash-fire.

I due elementi che regolano il fenomeno di accelerazione della fiamma sono l'espansione termica e la turbolenza. Le strutture e gli ostacoli, creando un parziale confinamento, possono contribuire a far transitare il fenomeno da flash fire ad esplosione.

Basandosi sulle osservazioni vari autori hanno concluso che:

- vi è una massa minima della nube che determina la transizione ad UVCE; da 1 a 15 tonnellate a seconda delle sostanze;
- è necessaria la presenza di ostacoli per la transizione ad UVCE;
- per data massa rilasciata, i materiali con più elevata velocità di propagazione della fiamma causano più facilmente le UVCE;
- l'esplosione non confinata è da considerarsi una deflagrazione e non una detonazione;
- i picchi di sovrappressione sono molto minori che nelle detonazioni, tipicamente 1 bar o meno, per una durata della fase positiva tra i 20 ed i 100 ms;
- generalmente le nubi innescate presto (in fase di formazione) generano un flash fire, mentre quelle innescate in ritardo generano un'esplosione.

La nube in genere viene innescata dal lato verso cui si muove, la combustione si propaga in tutte le direzioni e, successivamente alla prima fase, si espande verso l'alto a causa del galleggiamento.

I modelli per la stima degli effetti delle esplosioni sono basati principalmente su tre approcci:

- modello TNT, basato sull'equivalenza sull'esplosivo altamente detonante;
- modello TNO, basato sull'osservazione degli eventi accaduti;
- modello acustico, basato sulla dinamica dei gas ideali.

Il modello TNT è semplice da usare ed è basato sull'assunzione dell'equivalenza tra le sostanze infiammabili ed il TNT.

E' sufficiente conoscere la massa ed il potere calorifico inferiore della sostanza infiammabile dispersa, per calcolare la quantità di TNT equivalente. Va tuttavia stabilito il fattore di resa dell'esplosione, che si è visto, sulla base di diverse esplosioni verificatesi, essere variabile tra 0.01 e 0.1. Alcuni autori sostengono che per nubi asimmetriche ci si potrebbe anche attendere un fattore di resa di 0.4.

Gli effetti delle esplosioni da TNT sono ben documentati; quindi, una volta calcolata la quantità di TNT è possibile determinare gli effetti prodotti.

Il modello di correlazione del TNO è stato sviluppato per evitare di dovere ricorrere all'equivalenza col TNT in quanto gli effetti sono piuttosto differenti. E' un modello applicabile a molte sostanze infiammabili ed è basato sulla conoscenza della massa della nube che genera l'UVCE.

I risultati forniti consistono nelle distanze alle quali ci si attende quattro livelli sovrappressione-danno predefiniti.

Il flash fire non è un fenomeno ben simulato.

Uno dei pochi modelli esistenti è basato sulla radiazione termica e l'equazione di Stefan-Boltzmann. Esso è basato sulla conoscenza della temperatura della fiamma, parametro di cui è difficile ipotizzare il valore.

Un semplice approccio consiste nel definire le curve a concentrazione costante in corrispondenza dei valori pari al limite inferiore d'infiammabilità ed alla metà di esso. L'uso di queste due curve per delimitare gli effetti della radiazione termica è basato sull'assunzione che il processo di combustione non è intenso ed è di breve durata; inoltre si assume che l'espansione termica della nube avviene prevalentemente verso l'alto a causa del galleggiamento. Queste assunzioni non sono vere, secondo l'esperienza attuale, ma sono utili a semplificare i calcoli. Inoltre, come già detto, il processo di transizione da flash fire ad UVCE è scarsamente conosciuto.

Esplosioni fisiche

L'esplosione fisica si determina quando un recipiente contenente un gas in pressione subisce una rottura catastrofica; a seguito di tale rottura, infatti, l'energia di pressione immagazzinata nel gas viene rilasciata verso l'ambiente mediante l'espansione rapida del gas, necessaria a ridurre il differenziale di pressione determinatosi. L'espansione rapida causa un'onda di pressione e l'accelerazione centripeta dei frammenti dell'apparecchiatura. Le cause che producono la rottura devono essere evidenziate nella precedente fase di valutazione dei pericoli.

Se il gas in espansione è infiammabile può verificarsi il suo innesco con i conseguenti effetti.

Un metodo di calcolo disponibile, basato su studi sperimentali a piccola scala, consiste nel calcolare l'energia rilasciata nella decompressione, in funzione del volume del vessel, delle pressioni iniziali e finali e della temperatura del gas compresso. Tale energia viene quindi espressa, tramite un fattore di conversione dimensionale, in quantità di TNT equivalente; nota questa quantità, come nel caso delle UVCE, si possono utilizzare le conoscenze sulle esplosioni di TNT per determinare gli effetti dell'incidente.

Non essendo però appropriato, come nel caso delle UVCE, equiparare gli effetti dell'esplosione di TNT a quelli dell'esplosione fisica nell'intorno della sorgente viene suggerito di apportare delle correzioni secondo il cosiddetto metodo della distanza virtuale dal centro dell'esplosione.

Ma il vero pericolo, nel caso di rilasci di energie non eccessivamente intensi, è costituito dal lancio di proiettili. I metodi proposti consentono, ipotizzando un certo grado di frammentazione del vessel, di calcolare dapprima la velocità iniziale e quindi la distanza percorsa.

Il calcolo della velocità iniziale, nel caso di contenitori sferici o cilindrici, è fattibile sulla base della pressione interna, del volume, della massa del contenitore, del rapporto tra i calori specifici del gas e della temperatura del gas. Il calcolo della distanza percorsa è effettuato mediante un metodo tabellare.

BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosion) e fireball

Il BLEVE è un improvviso rilascio, a seguito di rottura del contenitore, di una grande massa di un liquido pressurizzato surriscaldato o gas liquefatto.

Una delle principali cause è il riscaldamento del liquido operato da un incendio sottostante il contenitore che causa l'indebolimento meccanico del mantello e la sua improvvisa rottura. Tipicamente a seguito del flash del liquido che fuoriesce si possono avere aumenti di volume superiori a 200 volte. Ciò è sufficiente a generare l'onda di pressione e la proiezioni dei frammenti.

Se il liquido interessato dal BLEVE è infiammabile, per effetto di un innesco si genera il fireball, cioè la combustione dello strato esterno di gas fuoriuscito dal contenitore. La palla di fuoco, generatasi a livello del contenitore, sotto l'effetto delle forze di galleggiamento che agiscono sul gas caldo, si dirige quindi verso l'alto.

I modelli utilizzati sono basati su un approccio empirico. La procedura di calcolo si sviluppa in più passi.

Il primo passo consiste nella determinazione della pressione e del numero dei frammenti. Le tecniche relative a questa fase si applicano a tutti i BLEVE, indipendentemente dalla infiammabilità della sostanza.

Inoltre, nel caso di sostanze infiammabili, si dovranno valutare gli effetti termici del fireball.

Gli effetti della sovrappressione sono in genere modesti, ma sono temibili perché possono causare effetti domino all'interno dello stabilimento.

Gli approcci per la quantificazione delle sovrappressioni sono, come nel caso di altri tipi di esplosioni, basati su metodi di TNT equivalente o su modelli fisici.

La proiezione dei frammenti dipende dalla geometria del contenitore e dall'orientamento del suo asse. Nell'incidente di Mexico City il BLEVE di GPL provocò la proiezione di frammenti fino a mille metri di distanza.

Il numero dei frammenti è quantificabile in funzione della grandezza del contenitore. Esistono delle correlazioni, desunte da incidenti con BLEVE di GPL, tra numero di frammenti e distanza alla quale si ritrovano.

Vi sono poi delle correlazioni tra il diametro iniziale e massimo del BLEVE, la durata del fireball, l'altezza del centro della sfera di fuoco e la massa di gas coinvolta.

La radiazione generata dalla combustione del gas che procede verso l'alto investe gli oggetti posizionati in prossimità del suolo. Il corrispondente flusso termico è calcolabile in funzione della trasmissività dell'atmosfera, del flusso termico emesso al livello della superficie e da un coefficiente. La trasmissività dell'atmosfera è importante perché permette di tenere conto dell'assorbimento di calore da parte dell'aria. Non tenerne conto può portare a sovrastimare notevolmente il flusso termico sul bersaglio. La trasmissività può essere stimata in funzione della distanza tra fireball e bersaglio.

Il flusso termico sulla superficie del fireball (200 - 350 kW/mq) è più elevato di quello che associato ad un pool-fire in quanto la fiamma non è fumosa.

La stima del flusso termico sulla superficie, in funzione della frazione radiante del calore totale di combustione, si può effettuare conoscendo la massa di combustibile, il suo calore di combustione, il massimo diametro del fireball, la frazione di radiazione (0.25 - 0.40) e la durata del fireball.

Al fine di correlare gli effetti del BLEVE ai danni sull'uomo, dovrebbe essere usato un fattore di forma che concettualmente permette di legare il flusso sferico calcolato alla distanza voluta al flusso che colpisce un bersaglio piano; tale fattore di forma è calcolabile in funzione del diametro della sfera di fuoco e della distanza tra essa ed il bersaglio.

Esplosioni confinate

Le esplosioni confinate si sviluppano possono essere originate da deflagrazioni, da decomposizioni termiche e da reazioni chimiche veloci o fuggitive, inizialmente contenute in un ambiente confinato. Sono spesso causate da deflagrazione di polveri, di vapori o di gas infiammabili contenute all'interno di spazi delimitati più o meno grandi, quali gli ambienti degli edifici o i silos.

I danni causati dalle esplosioni confinate sono ancora dovuti alla generazione di un'onda di pressione ed alla proiezione di frammenti veloci.

Le tecniche di calcolo sono basate sulla valutazione del picco di pressione; se questo è sufficiente a provocare la rottura del contenitore, si determinano gli effetti all'esterno.

La pressione conseguente all'esplosione di un contenitore o di una tubazione è approssimativamente pari alla pressione di rottura del materiale costitutivo, che a sua volta è pari alla pressione di esercizio aumentata di un fattore pari al coefficiente di sicurezza (tipicamente da 2.5 a 4).

Le esplosioni da miscele infiammabili all'interno di contenitori o tubazioni possono essere determinate da deflagrazioni o detonazioni.

Se si ha la detonazione, forma più violenta di combustione, il fronte di fiamma ed il fronte di sovrappressione procedono nello spazio congiuntamente, alla velocità del suono; sono gas detonanti ben conosciuti l'idrogeno, l'etilene e l'acetilene.

La deflagrazione è una combustione che procede nello spazio a velocità subsonica, ma può, ad esempio con maggiore probabilità nelle tubazioni, transitare in una detonazione.

Le esplosioni di polveri infiammabili sono in genere deflagrazioni, anche se in alcuni casi coinvolgenti polveri di carbone o di cereali si sono verificate detonazioni.

Per quanto riguarda la limitazione delle pressioni massime mediante creazione di dispositivi e sistemi di sfogo, è da rilevare che questi sono efficaci solo per le deflagrazioni ma non per le detonazioni.

Il calcolo della pressione massima, cioè quella finale, nel caso di deflagrazione perfettamente confinata di gas infiammabili è calcolabile con l'equazione di stato dei gas perfetti in funzione della pressione iniziale, del peso molecolare e della temperatura dei gas nelle condizioni iniziali e finali.

A titolo di esempio il rapporto tra pressione finale e pressione iniziale è pari ad 8 nel caso di miscela di idrocarburi con aria e pari a 16 nel caso di miscele di idrocarburi con ossigeno.

Le esplosioni da polveri combustibili presentano caratteristiche particolari e devono essere trattate con modelli di calcolo ad hoc.

Un parametro molto importante per la valutazione delle conseguenze è il massimo gradiente di pressione nel tempo (dP/dt). Esso si calcola con la cosiddetta legge cubica, sia per i gas che per le polveri, in funzione del volume del contenitore e di un coefficiente dipendente dalla composizione della miscela, dallo stato fisico, dall'energia d'innesco e dal volume.

Nel caso delle detonazioni il calcolo del picco di pressione e le proprietà dell'onda d'urto, come velocità ed impulso di pressione, secondo la teoria di Lewis e von Elbe.

Lees afferma che i picchi di pressione nelle detonazioni in ambienti inizialmente atmosferici possono raggiungere i 20 bar, ma possono essere anche superiori se si innescano fenomeni di riflessione tra superfici solide.

Per la stima delle pressioni derivanti da esplosioni da polveri sono disponibili metodi che tengono conto, oltre che delle dimensioni del contenitore e delle caratteristiche della polvere, anche di eventuali sistemi di sfogo dei gas.

Nel caso delle decomposizioni chimiche è frequente considerare che l'energia chimica disponibile è interamente convertita in massa di TNT equivalente, indipendentemente dal fatto che lo scoppio del vessel potrebbe avvenire ad una pressione inferiore.

Questa regola conservativa è spesso applicata, utilizzando per il calcolo delle conseguenze l'onda di pressione corrispondente alla massima energia immagazzinata nel contenitore.

Una volta determinata la pressione massima, se questa è tale da provocare il collasso e quindi lo scoppio del contenitore bisognerà stimare i danni conseguenti. Come abbiamo evidenziato negli altri casi, gli effetti possibili sono shock da sovrappressioni, lancio di proiettili e incendi di nubi costituite da miscele infiammabili.

Infine è da rilevare che l'effetto domino è un grave fattore di pericolo in molte situazioni dove possono verificarsi esplosioni. Infatti, non è raro che un'esplosione in un dato ambiente causi un incremento di temperatura e di pressione in un ambiente adiacente comunicante.

Si consideri inoltre che spesso una piccola esplosione di polvere ha effetti devastanti se, in ambienti comunicanti che possono risentire dell'onda barica, sono presenti combustibili in polvere in quanto l'onda trasmessa può provocare una dispersione delle polveri depositate in grandi quantità con possibile conseguente innesco ed esplosione da cui derivano, a causa della grande massa di combustibile, danni molto maggiori di quelli causati dalla prima esplosione.

Incendi da pozza e da jet

Si tratta di incendi derivanti dall'innesco di pozze di liquidi infiammabili o di rilasci di liquidi o gas in pressione.

Generalmente provocano effetti localizzati; la maggiore attenzione va prestata alle zone di protezione dei lavoratori ed alla valutazione di possibili effetti domino.

I modelli per la simulazione degli incendi da pozza sono in genere realizzati con una struttura modulare a modelli

parziali, per cui l'efficacia di un modello dipende dalla corretta scelta dei diversi moduli.

I modelli parziali riguardano la quantificazione del rateo di combustione, della dimensione della pozza, dell'altezza della fiamma, della pendenza della fiamma, della potenza termica emessa, del fattore di esposizione del bersaglio, della trasmissività atmosferica ed infine del flusso termico ricevuto dal bersaglio.

I modelli vanno concatenati secondo una certa logica in quanto i dati e i risultati dei diversi modelli sono reciprocamente connessi.

Anche se lo sviluppo del calcolo è condizionato dalla struttura del modello, si tratta di tecniche ben sviluppate e dettagliate; lo sviluppo dei calcoli è basato sui parametri caratteristici delle sostanze, dell'atmosfera e della geometria del sistema.

Il risultato è costituito dal flusso termico ad una certa distanza dalla sorgente.

I modelli disponibili per il jet fire non sono così ben dettagliati e sviluppati come per il pool fire, ma esistono diverse pubblicazioni in merito.

Dal punto di vista fenomenologico l'incendio da jet è governato da meccanismi simili a quelli caratterizzanti il pool fire.

Tra i metodi più semplici, ma ne esiste qualcuno anche più macchinoso, quello sviluppato dall'American Petroleum Institute è ancora molto usato.

Esso è basato sulla frazione radiante del calore totale di combustione che cresce, dal punto di emissione del gas, lungo l'asse del dardo. Mediante un abaco vengono correlati la lunghezza della fiamma ed il calore emesso da essa; la frazione radiante è pubblicata come costanti desunte da esperimenti di laboratorio.

Per la valutazione degli effetti domino dovuti all'impatto del dardo su altre apparecchiature o strutture si può usare la lunghezza della fiamma. Se il dardo è sufficientemente lungo da investire un bersaglio, si può assumere quale stima del calore trasmessogli la differenza tra il calore totale di combustione e la frazione radiante precedentemente calcolata.

Modelli di danno

I modelli fisici descritti in precedenza forniscono una varietà di risultati di effetti generati dai rilasci di sostanze pericolose o da particolari fenomeni fisici connessi a tali rilasci. Così avremo quantificato concentrazioni di sostanze tossiche, flussi termici, sovrappressioni, eccetera.

Tutti questi risultati esprimono il concetto generale che la severità degli effetti è una funzione della distanza della sor-

gente dal bersaglio. Abbiamo anche visto che tale funzione nei diversi casi è definita più o meno precisamente e fornisce di conseguenza risultati più o meno approssimati.

Il secondo passo nel processo di valutazione delle conseguenze delle sequenze incidentali è quello di correlare i risultati dei modelli fisici o matematici ai danni subiti dal bersaglio; dove per bersaglio si intende l'oggetto delle nostre preoccupazioni, definito nella prima fase dell'analisi di rischio cioè quella di definizione degli obiettivi.

Il problema cardine della fase di valutazione del danno è la definizione dei metodi o criteri per convertire gli effetti - calcolati con i modelli di simulazione - in danni.

Esiste inoltre un problema di uniformità nella rappresentazione dei danni stimati, al fine di potere esprimere in modo omogeneo i diversi rischi.

Esaminiamo i criteri ed i metodi più usati per convertire gli effetti dei fenomeni fisici in danni del bersaglio.

Il metodo diretto è forse quello più usato. Esso prevede che i danni per il bersaglio derivino dalla semplice esposizione agli effetti dell'incidente (modelli a soglia).

Così, ad esempio, il decesso è desunto direttamente e semplicemente dall'esposizione degli individui a certe concentrazioni limite di gas tossico, oppure ad un determinato flusso termico limite.

In realtà si intuisce che la complessità del meccanismo (fisico, biologico o di altro tipo) che a seguito dell'esposizione fa insorgere il danno, non è rappresentabile con un semplice modello deterministico "effetto -> danno" ma andrebbe rappresentato in termini probabilistici. In altri termini, le funzioni di trasformazione dell'effetto in danno non sono discrete ma del tipo distribuzione di probabilità.

Un esempio di tale tipo di approccio statistico è il metodo "probit" (probability unit). Esso riflette una relazione di dipendenza dal tempo, generalizzata per qualunque variabile avente un risultato probabilistico definibile come distribuzione normale.

Il metodo può essere applicato indifferentemente alle relazioni tra effetti incidentali termici, meccanici e tossici e le relative conseguenze in termini di danno.

Un esempio di uso di questo approccio è la valutazione dei danni da esposizione ad agenti tossici mediante la correlazione statistica tra il "carico di danno" (per esempio una dose di tossicità espressa come unità di concentrazione in unità di tempo) e la percentuale di persone affette da uno specifico livello di danno.

Stima delle frequenze

La stima delle frequenze di accadimento, insieme alla stima delle conseguenze, costituisce uno dei passi fondamentali per la stima quantitativa del rischio.

Descriveremo brevemente le tecniche utilizzate per il calcolo delle probabilità associate agli scenari incidentali individuati con la valutazione dei pericoli.

Preliminarmente precisiamo i concetti di probabilità e frequenza.

La probabilità attribuita ad ogni scenario incidentale è lo strumento utilizzato per esprimere l'incertezza relativa al suo verificarsi su una scala quantitativa che convenzionalmente va da 0 ad 1; in tale scala gli eventi impossibili hanno probabilità di verificarsi uguale a zero, mentre quelli certi hanno probabilità uguale ad 1.

Dal punto di vista formale, ed operativo, si possono distinguere due accezioni del termine probabilità:

- una "frequentista", per cui si ritiene che la probabilità sia una variabile oggettiva, intrinseca dei fenomeni casuali;
- l'altra "soggettivista", per cui si ritiene che la probabilità sia una variabile soggettiva utile ad esprimere il grado di fiducia nei confronti del verificarsi di un evento.

L'approccio frequentista vede presenti due definizioni di probabilità:

- la prima, secondo cui la probabilità di un evento è il rapporto tra il numero dei casi favorevoli ed il numero dei casi possibili;
- la seconda, secondo cui la probabilità di un evento è la frequenza con cui esso si verifica in un numero tendente ad infinito di esperimenti.

Mentre la prima definizione è applicabile ad un numero ristretto di casi (lancio dei dadi, estrazione di una carta dal mazzo), la seconda è più generale ma per diventare operativa deve essere privata dell'infinità del numero di esperimenti.

Per l'approccio soggettivista la probabilità del verificarsi di un evento non è una caratteristica connaturata con l'evento ma il grado di fiducia che l'analista ripone nel suo verificarsi, cioè l'espressione quantificata della conoscenza del fenomeno che genera l'evento. È chiaro che in quest'ottica la valutazione fatta da analisti diversi in generale sarà diversa perché diversi sono i loro gradi di conoscenza.

Nell'analisi del rischio ritroviamo ambedue le accezioni; ad esempio il rateo di guasto dei componenti può benissimo essere ricavato utilizzando la seconda definizione frequentista, cioè effettuando delle prove su un numero elevato di campioni in modo da misurare quanti continuano

a funzionare in certe condizioni. Ma nel complesso è forse più diffuso l'uso della probabilità secondo l'accezione soggettivista; basti pensare che alla fine un top event risulterà caratterizzato da un valore di probabilità (anche se espresso in unità di misura di frequenza) che deriva da tutta una serie di scelte soggettive fatte dall'analista.

Incidentalmente, rimarchiamo il fatto che la stima esprime sempre un'aspettativa, un grado di fiducia nell'evento. Da questo punto di vista l'uso dei termini frequenza (occasioni attese per anno) e probabilità (numero adimensionale) è indifferente. Infatti, la probabilità è usata nell'analisi di rischio per descrivere l'aspettativa che l'evento si verifichi in quell'intervallo di tempo (1 anno). Frequenza e probabilità sono quindi concettualmente coincidenti.

Le tecniche principalmente utilizzate per la valutazione della probabilità associate agli incidenti sono l'analisi storica, l'albero dei guasti, l'albero degli eventi.

L'analisi storica consiste nell'individuare gli incidenti, assimilabili al top event di cui si vuole valutare la probabilità, fra quelli realmente avvenuti in passato. Si calcolerà quindi la probabilità di accadimento come numero dei casi significativi realmente occorsi diviso il numero di anni del periodo di riferimento.

L'analisi storica si sviluppa secondo i seguenti passi:

- definizione del contesto mediante una chiara specificazione degli incidenti (identificati preliminarmente)
- analisi della completezza ed affidabilità dei dati storici
- valutazione dell'applicabilità dei dati storici disponibili al contesto in esame
- calcolo delle probabilità e di eventuali correzioni per tenere conto delle differenze tra i casi storici e la realtà del contesto
- validazione della stima probabilistica

Le tecniche degli alberi dei guasti e degli alberi degli eventi sono delle tecniche analitiche che attraverso la quantificazione, con parametri di affidabilità, dei documenti prodotti nella fase di valutazione dei pericoli consentono di calcolare la probabilità associata al top event individuato.

Operativamente, ad ogni evento di base dell'albero dei guasti viene assegnata una probabilità di guasto o altro parametro di affidabilità, a seconda del modo di funzionamento dell'elemento. Attraverso le operazioni logiche di "And" e "Or" dell'algebra booleana si individuano gli insiemi minimi di taglio, già descritti in precedenza, e le probabilità caratteristiche degli eventi descritti nei nodi intermedi e del top event.

Gli alberi degli eventi quantificati possono essere utilizzati per calcolare la probabilità associata alle diverse sequenze che possono verificarsi a seguito di un top event.

In questo modo, oltre ad avere la descrizione logica e grafica della sequenza temporale dello sviluppo di un evento si ha la quantificazione delle probabilità associate ai diversi casi. Tipicamente vengono utilizzati per descrivere e quantificare le sequenze successive ai top events descritti con gli alberi dei guasti, per mettere in luce eventuali insufficienze dei sistemi protettivi.

Stima del rischio

Genericamente il rischio si può definire come una variabile dipendente dalle frequenze associate agli eventi rientranti nel dominio del problema e dalle relative conseguenze.

Ancora, può essere definito come una misura delle perdite economiche o dei danni alle persone in termini di frequenza e magnitudo.

Vi sono diversi rischi cui ci si può riferire; la scelta dipende prevalentemente dagli obiettivi fissati nella fase iniziale dell'analisi, cioè dalle conseguenze rispetto alle quali l'utente dell'analisi nutre un interesse.

Infatti, ai fini di protezione della salute degli uomini le conseguenze possono essere definiti in termini di decessi e ferimenti; se l'oggetto dell'analisi sono le proprietà fisiche, quali edifici ed impianti, le conseguenze possono essere definite in termini di perdite economiche, perdite di funzionalità, e così via.

Volendo comporre il rischio a partire da tutti i suoi fattori sorge la necessità di confrontare o cumulare gli effetti di gruppi di incidenti o della totalità degli incidenti attesi nel dominio dell'analisi; ciò a volte risulta difficoltoso perché le conseguenze derivanti dai diversi incidenti sono valutate con riferimento a danni di tipo diverso e quindi sono, per così dire, per loro natura espresse con unità di misura diverse.

Ad esempio, si pensi ai seguenti due incidenti:

- una esplosione senza conseguenze per la salute dei lavoratori che però produce dei danni agli impianti, quindi conseguenze espresse in termini economici perché consistenti in mancata produzione e costi di ricostruzione;
- un flash fire con conseguente decesso di un dipendente e danni praticamente trascurabili all'impianto, quindi conseguenze valutate in termini di perdite di vite umane.

Si comprende come il problema non sia facilmente risolvibile in termini generali, in quanto legato agli obiettivi dell'analisi del rischio, anche se in molti casi si può tentare un'omogeneizzazione delle conseguenze dei diversi incidenti, ad esempio monetizzandole o considerando solo il danno alla salute.

Inoltre sia le stime delle conseguenze che le stime delle frequenze degli eventi, sono affette dalle incertezze

derivanti dalla soggettività insita nelle scelte dell'analista, dalla approssimazione dei dati e dei modelli matematici utilizzati.

Pertanto bisogna sempre considerare l'analisi del rischio non un metodo valutativo i cui risultati saranno replicabili indipendentemente dal contesto e dal momento in cui viene applicato, bensì una forma ed una metodologia per rappresentare un aspetto della realtà che, come la realtà medesima, è in continuo divenire a causa del miglioramento dello stato dell'arte nel settore.

Infine, per quanto riguarda l'espressione dei risultati dell'analisi, un'accortezza necessaria è quella di sviluppare un rappresentazione del rischio che sia congruente con gli obiettivi dell'analisi, comprensibile all'utente dell'analisi ed utile ai fini del successivo processo decisionale che questi attuerà.

Conclusioni

E' necessario sottolineare che alcune delle tecniche sopra descritte, oltre a produrre risultati caratterizzati da un grado di approssimazione diverso – dipendente dalle modalità di implementazione e dai dati di base disponibili – sono caratterizzate da costi altrettanto variabili; d'altra parte l'attendibilità e la precisione dei risultati sono spesso legate all'entità dei costi.

Tali aspetti, unitamente alla possibilità di attuare degli approcci scalabili, consentono di definire approcci correttamente finalizzati agli obiettivi che di volta in volta caratterizzano l'analisi di rischio.

Copyright

© 2000 - 2014, ing. Gaetano Sola
(<http://digilander.libero.it/nello.sola/>)

Il presente documento, di carattere esclusivamente divulgativo, è di proprietà di Gaetano Sola (Autore).

L'autore mantiene tutti i diritti per la riproduzione in qualsiasi forma, la modifica dei contenuti, l'uso di parti del testo in altri documenti, la pubblicazione editoriale e tutti gli altri diritti connessi con la tutela dell'attività intellettuale.

Qualsiasi uso di questo testo, compresi quelli sopra indicati ed esclusi quelli alla consultazione personale sono vietati, salvo quelli autorizzati esplicitamente in forma scritta dall'autore.

Nota sociale

Questo documento è redatto e pubblicato utilizzando software open source.

Il modello open source favorisce lo sviluppo di software di alta

qualità ed affidabilità; inoltre, esso permette il controllo pubblico delle funzionalità per la tutela della riservatezza dei dati trattati mediante i calcolatori elettronici.

Per approfondimenti si possono consultare le seguenti fonti:

<http://www.opensource.org/>

<http://www.fsfeurope.org/index.it.html>

Bibliografia

AA.VV. - Pubblicazioni del Joint Research Center (ISIS) di Ispra (VA)

R.J. Lewis Sr. - *SAX's dangerous*
SOMMARIO properties of industrial materials Volumi I II e III - Van Nostrand Reinhold, New York

F.P. Lees - *Loss prevention in the process industries Volumi 1, 2 e 3* - Butterworth Heinemann, Oxford

CCPs - *Guidelines for hazard evaluation procedure* - AIChE, New York

CCPs - *Chemical process quantitative risk analysis* - AIChE, New York

CCPs - *Guidelines for technical management of chemical process safety* - AIChE, New York

CCPs - *Guidelines for evaluating characteristics of vapor cloud explosion, flash fires and BLEVEs* - AIChE, New York

CCPs - *Guidelines for use of vapor cloud dispersion models* - AIChE, New York

CCPs - *Guidelines for safe storage and handling of high toxic hazard materials* - AIChE, New York

CCPs - *Guidelines for vapor release mitigation* - AIChE, New York

Giovanni Marsili - *Analisi del rischio d'incidente rilevante* - IPSOA

Appendice

Glossario

albero dei guasti(fault tree)

modello logico utile a descrivere graficamente la combinazione di guasti che possono condurre ad uno specifico guasto ovvero ad un incidente di interesse (top event)

albero degli eventi (event tree)

modello logico utile a descrivere graficamente la combinazione degli eventi e delle circostanze di una sequenza incidentale

analisi del rischio

sviluppo della stima quantitativa del rischio, basata su valutazioni ingegneristiche e tecniche matematiche finalizzate alla combinazione delle stime delle frequenze e delle conseguenze degli incidenti

analisi storica

tecnica usata per identificare i pericoli ed i possibili incidenti caratterizzanti un certo tipo attività, a partire dalle notizie riguardanti incidenti verificatisi nel passato

analisi cause-conseguenze

metodo utile ad illustrare i possibili risultati derivanti dalla combinazione logica di determinati eventi o stati

combinazione dei modelli albero dei guasti e albero degli eventi

analisi delle conseguenze

analisi degli effetti di un incidente indipendentemente dalle frequenze o probabilità

attività soggetta ai controlli di prevenzione incendi

una delle 97 specifiche attività elencate nel D.M. 16 febbraio 1982

BLEVE

boiling liquidexpanding vapor explosion

deriva dall'improvviso rilascio in atmosfera di una grande massa liquida pressurizzata

causa comune di guasto

la concomitanza di due o più guasti derivanti da un singolo evento o circostanza

checklist

lista dettagliata degli attributi di un sistema desiderati o dei passi che un sistema o un operatore devono effettuare. Usualmente compilata in base all'esperienza e utilizzata per valutare l'accettabilità di un sistema o di operazioni rispetto a delle norme di riferimento

conseguenza

effetto fisico o danno associato ad un incidente quale un incendio, un'esplosione, rilascio di sostanze tossiche, eccetera

la descrizione può essere qualitativa oppure quantitativa se conduce alla stima dell'impatto sulla salute, delle perdite economiche, dei danni ambientali

deflagrazione

reazione chimica nella quale il fronte di reazione avanza, nella massa non reagita, con velocità subsonica

detonazione

rilascio di energia causato da una reazione chimica estremamente rapida nella quale il fronte di reazione avanza, nella massa non reagita, con velocità supersonica

dichiarazione di non aggravio di rischio

atto formale accompagnato da documentazione tecnica, presentato al Comando Provinciale VV.F. ed all'Ispettorato Regionale VV.F., nel quale il gestore di uno stabilimento già soggetto agli obblighi di cui all'art. 8 dichiara che le modifiche apportate all'attività non comportano un aggravio di rischio e quindi l'obbligo di presentazione di un rapporto di sicurezza aggiornato;

i criteri delineanti l'obbligo di nuova notifica sono riportati nell'allegato al decreto del Ministro dell'ambiente del 13 maggio 1996

dispersione atmosferica

miscelazione a bassa velocità di gas o vapori con l'aria, derivante dallo scambio turbolento di energia causato dal vento e dal gradiente termico dell'atmosfera

disponibilità

la frazione di tempo per cui un sistema o componente è perfettamente operativo

effetto domino

inizio di uno o più eventi secondari, causati da un determinato evento principale, che comportano un aumento delle conseguenze ultime;

si considera solo se l'escalation dell'incidente iniziale è significativa

errore umano

azione o mancata azione umana che eccede alcuni limiti di accettabilità

esplosione fisica

rottura catastrofica di un contenitore pieno di gas pressurizzato

esplosione da fase condensata

esplosione di un materiale solido o liquido

esplosione

rilascio di energia provocante una discontinuità di pressione nello spazio

esplosione confinata

esplosione all'interno di un sistema chiuso (reattore, edificio, eccetera)

evento esterno

accadimento esterno al sistema o all'impianto derivante da causa naturale (terremoto, tornado, eccetera) oppure indotto da cause umane (missile, impianto adiacente, sabotaggio, eccetera)

evento iniziatore

il primo evento di una sequenza incidentale

evento intermedio

un evento capace di propagare o mitigare una sequenza incidentale

evento base

un evento di un albero dei guasti, per cui non è necessaria una ulteriore scomposizione e quindi posto al più basso livello di risoluzione dell'albero

evento

accadimento correlabile alla prestazione di un dispositivo o ad un'azione umana, ovvero accadimento esterno al sistema, determinante una perturbazione del sistema

fireball

combustione di una nube, satura di combustibile all'interno, composta da aria e combustibile nello strato esterno, durante la quale l'energia viene emessa prevalentemente sotto forma di radiazione termica

fin tanto che le forze di galleggiamento del gas caldo sono sufficienti, la nube incendiata sale ed assume una forma sempre più simile ad una sfera

flash

rapida evaporazione

flash fire

combustione di una miscela di aria e vapori infiammabili che la fiamma attraversa con velocità subsonica, cosicché la sovrappressione generata è trascurabile

FMEA

failure modes and effects analysis

tecnica sistematica tabellare finalizzata alla valutazione e la documentazione delle cause e degli effetti delle rotture dei componenti

FMECA

failure modes, effects and critical analysis

variante della FMEA comprendente la stima quantitativa dell'importanza delle conseguenze dei modi di guasto

frequenza

numero di accadimenti previsti per un dato evento, nell'unità di tempo

gas leggero

gas con densità, a temperatura ambiente, inferiore a quella dell'aria

gas denso

gas caratterizzato da una densità, a temperatura ambiente, superiore a quella dell'aria

HAZOP

hazard and operability analysis

metodo sistematico con il quale i pericoli legati al processo e i potenziali problemi operativi sono identificati utilizzando una serie predefinita di parole guida, al fine di investigare le deviazioni di processo

HRA

human reliability analysis

metodo utilizzato per valutare se le azioni umane necessarie al sistema possono essere intraprese e completate nel richiesto intervallo di tempo

è anche utilizzato per valutare la probabilità che siano effettuate azioni umane dannose al sistema

identificazione dei pericoli

indicazione esaustiva delle sostanze, dei sistemi, dei processi, delle caratteristiche d'impianto che possono produrre conseguenze indesiderabili attraverso l'insorgere di un incidente

IDLH

immediately dangerous to life or health

concentrazione limitata di sostanza da cui un individuo può sottrarsi in un tempo di trenta minuti senza accusare sintomi che ne impediscano la fuga ed effetti irreversibili per la salute

proposto e pubblicato dal NIOSH per la protezione dei lavoratori

inaffidabilità

probabilità che un dato guasto si verifichi in un assegnato intervallo di tempo

incertezza

misura, spesso quantitativa, del grado di incertezza associato alla stima di un parametro

incidente rilevante

il rilascio da un impianto di materia e/o energia in quantità o forma tali da provocare effetti avversi sulle persone, le cose o l'ambiente

incidente

scenario incidentale

sequenza incidentale

un evento o una sequenza di eventi non pianificati che producono conseguenze indesiderate per l'uomo, le cose o l'ambiente

indisponibilità

probabilità che un guasto si verifichi in un tempo specificato

jet

rilascio di liquido e/o vapore

jet fire

incendio risultante dall'ignizione di un rilascio di un liquido o vapore pressurizzato

LOC

level of concern (IDLH / 10)

proposto da EPA per la pianificazione, con riferimento alla popolazione generalmente assortita

MCS

minimal cut set

una delle possibili combinazioni di guasti necessari e sufficienti a determinare l'accadimento del top event in un albero dei guasti

metodo ad indici

metodo utilizzato per relativizzare i rischi associati ad un processo,

si basa sul calcolo di numeri indice in funzione della pericolosità della sostanza e delle caratteristiche di processo

originariamente sviluppato da Dow Chemical Company per i rischi di incendio ed esplosione ed integrato da ICI per tenere conto dei pericoli legati alla tossicità (indice MOND)

modello fisico

modello in grado di fornire informazioni quantitative circa le portate di rilascio e gli effetti (radiazione termica, sovrappressioni, concentrazioni in seguito a dispersione, eccetera)

modo di guasto

sintomo o condizione per cui un componente subisce una riduzione o perdita di funzionalità, funziona quando non previsto, non rispetta le tolleranze di funzionamento, eccetera

parametri affidabilistici

l'insieme delle proprietà definite matematicamente ed utilizzate nell'ingegneria dell'affidabilità per descrivere il comportamento dei sistemi e dei loro componenti (affidabilità, disponibilità, eccetera)

peggiore incidente possibile

l'incidente più severo (in relazione agli effetti) fra tutti quelli identificati

peggiore incidente credibile

l'incidente più severo (in relazione agli effetti) considerato plausibile o ragionevolmente credibile, fra tutti quelli identificati

pericolo

una condizione fisica o chimica recante il potenziale di danneggiare fisicamente le persone, le cose o l'ambiente

una combinazione di sostanze pericolose, condizioni operative e circostanze non pianificabili che possono far insorgere un incidente

danno cronico

danno potenziale atteso a seguito di un'esposizione prolungata ad una condizione indesiderata

danno acuto

danno potenziale atteso a seguito di un'esposizione istantanea o di breve durata agli effetti di un incidente

pool fire

combustione della miscela aria-vapore, nella parte di spazio sovrastante uno sversamento di liquido infiammabile

probabilità di guasto

probabilità, compresa tra 0 ed 1, che un componente si trovi guasto su domanda o si guasti in un assegnato periodo di tempo

probit

per alcune sostanze comuni sono disponibili le informazioni sulla relazione dose-risposta;esse possono essere applicate ad una funzione (detta Probit) al fine di quantificare il numero di morti che ci si aspetta per una data esposizione.

rateo di guasto

il numero di guasti diviso per il tempo operativo totale durante il quale essi si verificano ovvero diviso per il numero totale di richieste di funzionamento

rilascio continuo

emissione di una sostanza di durata lunga rispetto al tempo di esposizione agli effetti dell'incidente

(ad es. rispetto al tempo di arrivo o di transito della nube originatasi)

rilascio breve

emissione di una sostanza, di durata breve rispetto al tempo di esposizione agli effetti dell'incidente (ad es. rispetto al tempo di arrivo o di transito della nube originatasi)

rischio

la combinazione della frequenza attesa (eventi / anno) e delle conseguenze (effetti / eventi) relative ad un singolo incidente o ad un gruppo di incidenti

rischio sociale

misura del rischio riferita ad un gruppo di persone

sequenza di eventi

specifica, non pianificabile, serie di eventi composta da un evento iniziatore e più eventi intermedi che può condurre ad un incidente

sistema di mitigazione

dispositivo e/o procedura progettati per interferire con la sequenza incidentale e/o ridurne le conseguenze

stabilità atmosferica

misura del grado di turbolenza atmosferica, in genere definito in termini di gradiente di temperatura verticale

tempo di prova

intervallo di tempo tra due prove successive di un dispositivo di protezione

top event

evento indesiderato o incidente, radice dell'albero dei guasti, derivante da una

sequenza derivante da altri guasti

UVCE

unconfined vapor cloud explosion

combustione di una nube non confinata; la velocità della fiamma può crescere fino a valori tali da produrre sovrappressioni significative

valutazione dei pericoli

analisi dell'importanza delle situazioni pericolose associate con le attività svolte mediante l'uso di tecniche qualitative volte ad identificare le carenze che possono determinare l'insorgere di un incidente

valutazione quantitativa del rischio

valutazione quantitativa del rischio mediante la teoria della probabilità ed il calcolo delle conseguenze

Sommario

Riassunto.....	1
Premessa.....	1
Metodologia di analisi.....	2
Definizione degli obiettivi.....	3
Definizione degli obbiettivi.....	3
Identificazione dei pericoli.....	4
Identificazione dei pericoli.....	4
Proprietà delle sostanze.....	5
Proprietà delle sostanze.....	5
Condizioni di processo.....	6
Esperienza dell'industria.....	6
Esperienza dell'industria.....	6
Matrici di interazione.....	6
Tecniche di valutazione dei pericoli.....	7
Tecniche di valutazione dei pericoli.....	7
Espressione dei risultati.....	7
Valutazione dei pericoli.....	7
Safety Review.....	8
Safety Review.....	8
Lista di controllo.....	8
What-if.....	8
HAZOP (hazard and operability analysis).....	9
FMEA (failure modes and effects analysis).....	9
FMEA (failure modes and effects analysis).....	9
Albero di guasto (fault tree).....	10
Albero di guasto (fault tree).....	10
Alberi degli eventi (event tree).....	10
Alberi degli eventi (event tree).....	10
Analisi cause-conseguenze.....	10
Analisi cause-conseguenze.....	10

HRA (human reliability analysis)	11
Metodo ad indici	11
<i>Stima delle conseguenze</i>	12
<i>Stima delle conseguenze</i>	12
Modellisorgente	13
Portata rilasciata da un'apparecchiatura di contenimento.....	13
Rilascio in fase liquida.....	14
Rilascio in fase gas.....	14
Rilasci bifasici.....	14
Flash ed evaporazione.....	14
Modelli di dispersione	15
Modelli di dispersione	15
Modelli di incendi ed esplosioni	15
Modelli di incendi ed esplosioni	15
UVCE (Unconfined vapor cloud explosions) e flash fire.....	16
Esplosioni fisiche.....	17
BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosion) e fireball.....	17
Esplosioni confinate.....	18
Incendi da pozza e da jet.....	19
Modelli di danno	19
Modelli di danno	19
<i>Stima delle frequenze</i>	20
<i>Stima del rischio</i>	21
<i>Stima del rischio</i>	21
<i>Conclusioni</i>	21
<i>Conclusioni</i>	21
<i>Copyright</i>	22
<i>Nota sociale</i>	22
<i>Bibliografia</i>	22
<i>Appendice</i>	23
<i>Glossario</i>	23