

**ANALISI QUANTITATIVA DEL RISCHIO ASSOCIATO
AD INSTALLAZIONI INDUSTRIALI**

AUTORI: F. Calò, N. Manning, B. Frattini
ICARO S.r.l.
Vicolo Boni, 7
52044 Cortona (AR)
Tel: 0575-638311 - Fax: 0575-638379
e-mail: icaro@ats.it

Cortona, Luglio 1998

SOMMARIO

L'analisi quantitativa di rischio è una metodologia raffinata di valutazione del livello di rischio connesso ad una attività industriale. L'applicazione ad un deposito di GPL ha richiesto la messa a punto di una rigorosa procedura per la definizione degli scenari incidentali, per l'elaborazione delle frequenze attese di accadimento e per la stima della vulnerabilità della popolazione esposta.

I risultati sono presentati sotto forma di:

- Rischio Individuale, rappresentato da profili di isorischio che delimitano le regioni entro le quali è definita una frequenza attesa di evento letale;
- Rischio Collettivo, rappresentato dalla curva che correla il numero di decessi atteso con la corrispondente frequenza di accadimento

Le informazioni ottenute forniscono una guida alla progettazione di base per individuare le eventuali misure di protezione aggiuntive che consentono di ridurre il livello di rischio fino alla soglia di piena compatibilità sia in relazione al personale interno che alla popolazione del territorio circostante.

1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

L'analisi del rischio industriale è una metodologia, basata su valutazioni ingegneristiche e tecniche matematiche, finalizzata alla individuazione della misura del rischio come combinazione dell'entità delle conseguenze e della frequenza degli incidenti che caratterizzano una data attività.

La normativa nazionale in materia (DPR 175/88, Legge 137/97 etc.) prevede la valutazione degli effetti e la stima della frequenza degli eventi incidentali, senza comunque pervenire ad una determinazione numerica del rischio.

Le normative vigenti in altri Stati europei richiedono, d'altronde, la quantificazione del rischio, in forma di rischio individuale o collettivo.

Il presente lavoro costituisce il resoconto della applicazione pratica dell'analisi quantitativa del rischio associato ad un deposito di GPL di una Raffineria, attualmente in fase di realizzazione.

2 METODOLOGIA DI LAVORO

Lo sviluppo dell'analisi quantitativa del rischio associato a un deposito GPL di raffineria ha richiesto la messa a punto di una rigorosa procedura di acquisizione ed elaborazione di informazioni.

I principali passaggi sono così rappresentati:

1. Acquisizione delle informazioni.
2. Identificazione dei potenziali centri di rilascio.
3. Analisi delle modalità di rilascio.
4. Stima dei tempi di intervento.
5. Evoluzione degli scenari incidentali.
6. Effetti domino.
7. Analisi della vulnerabilità.
8. Calcolo delle distanze di danno.
9. Valutazione del rischio.
10. Discussione dei risultati.

Ciascun passaggio ha comportato la messa a punto di una metodologia che verrà descritta di seguito.

2.1 Acquisizione delle informazioni

Le informazioni di progetto sono state acquisite mediante la consultazione dei P&ID del parco stoccaggio, delle specifiche di progetto dei serbatoi, delle pompe, delle linee e delle valvole di sicurezza.

Sono stati inoltre valutati gli aspetti inerenti il controllo di processo, le logiche di blocco e le procedure di emergenza.

Il deposito è costituito essenzialmente da:

- cilindri orizzontali tumulati per lo stoccaggio di propano e propilene, da 3000 m³;
- cilindro orizzontale tumulato per lo stoccaggio dei prodotti fuori specifica, da 500 m³;
- sfere coibentate per butano da 2000 m³;
- sfere coibentate per GPL da 1500 m³;
- pompe di trasferimento per propano, butano e miscela al carico autobotti, navi e verso impianti di processo;
- baie di carico autobotti posizionati tra tumulati e sfera. Le baie sono dotate di bracci metallici sia liquido che ritorno vapore; per la fase liquida è prevista l'installazione di un braccio rigido dotato di accoppiamento autosigillante, che in caso di strappo consente l'intercettazione del rilascio sia lato processo che lato autobotte;
- linee di trasferimento, di collegamento alle principali utenze e ricicli interni.

2.2 Identificazione dei potenziali centri di rilascio;

In considerazione del fatto che il rilascio di propano e butano può avvenire in un punto qualsiasi delle tubazioni del deposito o presso una qualsiasi flangia o valvola, è stato deciso di discretizzare l'analisi mediante la suddivisione del deposito in centri di rilascio definiti, denominati unità.

Il centro di rilascio è costituito da una regione geografiche precisa, caratterizzata da una serie di elementi soggetti a perdite, quantificabili in termini di lunghezza di tubazioni, numero di flange, valvole e pompe.

Tutti gli elementi della unità, sono caratterizzati da una propria frequenza di rottura. Sommando tutte le frequenze specifiche è possibile pervenire alla frequenza globale di rilascio associabile ad una unità.

Una volta individuate le unità che rappresentano una schematizzazione a blocchi del deposito, è possibile procedere alla stima delle conseguenze posizionando tutti i possibili rilasci, nel baricentro geometrico della unità, mediando, in questo modo, le possibili evoluzioni dei rilasci stessi.

2.3 Analisi delle modalità di rilascio

PROBABILITÀ DI RILASCIO

Le informazioni sulle frequenze di rilascio per elementi di tubazioni sono state dedotte dal rapporto conseguente lo E & P Forum pubblicato dalla DNV Technica nel Maggio 1992.

I dati presentati sono stati elaborati sulla base dell'esperienza dell'industria off-shore, e quindi da ritenersi conservativi ai fini delle applicazioni agli impianti sulla terra ferma.

I valori di frequenza di rilascio sono organizzati in relazione al diametro esterno della tubazione.

Per ciascun diametro, sono quindi riportati, in forma tabellare i valori, in termini di probabilità, che il rilascio sia una cricca, una perdita consistente oppure una rottura catastrofica.

I dati disponibili sono stati interpolati mediante funzioni esponenziali in modo da ottenere distribuzioni continue della probabilità di avere una certa tipologia di rilascio:

$$p = f\left(\frac{d_f}{d_e}\right) \quad (1)$$

Essendo:

p = probabilità di rilascio da una determinata sezione di tubazione

d_f = diametro equivalente della sezione di rilascio

d_e = diametro esterno della tubazione

Le modalità di rilascio prese in considerazione per la realizzazione dello studio sono le seguenti:

- cricca (equivalente a rotture dal 2 al 10% del diametro esterno della linea);
- rilascio consistente (equivalente a rotture dal 10 al 40% del diametro esterno della linea);
- rottura catastrofica (equivalente a rotture dal 40 al 100% del diametro esterno della linea.)

Analoghe valutazioni sono state messe a punto per valutare le modalità di rilascio da pompe, flange, valvole in funzione del diametro delle linee connesse.

Per la stima di rilasci da serbatoi sono stati utilizzati valori tratti da banche dati internazionali e da fonti derivate dalla esperienza di industrie petrolifere.

I dati disponibili sono stati opportunamente mediati per tenere conto delle caratteristiche particolari dei serbatoi del deposito. In particolare sono stati adottati fattori compensativi a seguito della verifica della conformità del progetto dei serbatoi ai criteri definiti dai DM 14.10.94 e DM 15.05.96, relativi alla progettazione, alla installazione ed all'esercizio di depositi di GPL.

L'analisi delle frequenze di rilascio è stata completata con la valutazione della efficacia delle azioni di intercettazione automatica delle linee che consentono di ridurre notevolmente il tempo di rilascio e conseguentemente l'entità delle conseguenze.

In caso di efficace intercettazione, lo scenario conseguente è stato studiato come rilascio istantaneo di un quantitativo di gas pari, al massimo, al totale contenuto nella linea intercettata.

In caso di inefficace intercettazione, lo scenario conseguente è stato invece analizzato come rilascio continuo.

TEMPERATURE DI RILASCIO

Per rilasci da sfere coibentate e tubazioni connesse la temperatura del fluido è stata assunta pari a 20°C; per rilasci da cilindri tumulati e tubazioni connesse la temperatura del gas è stata assunta pari a 20°C; per rilasci da tubazioni del deposito la temperatura del gas è stata assunta pari a 25°C.

PRESSIONI DI RILASCIO

La pressione di rilascio è stata differenziata in relazione al punto effettivo in cui si ipotizza la perdita di contenimento.

Per rilasci da serbatoi di stoccaggio e tubazioni connesse, è stata adottata la tensione di vapore del gas liquefatto stoccato.

Per tubazioni poste sulla mandata delle pompe di trasferimento, la pressione è stata debitamente incrementata per contemplare la prevalenza fornita dal mezzo meccanico.

Nel caso di rilascio da cricca e da perdita consistente è stato ipotizzato che la tubazione riesca a mantenere la pressione di spinta della pompa.

Nel caso di rottura catastrofica, è stato ipotizzato che dopo pochi secondi dalla perdita di contenimento, la portata diviene pari al valore di esercizio consentito dalla pompa (maggiorata di un 20% per tenere conto del fatto che la pressione a valle diminuisce e conseguentemente la portata della pompa centrifuga aumenta).

2.4 Stima dei tempi di intervento

In relazione al lay-out del deposito sono state valutate le disposizioni più efficaci per rilevatori di gas e incendio in modo da poter coprire tempestivamente tutti i rilasci più critici, tenendo in considerazione le principali direzioni di provenienza dei venti.

I sensori di incendio sono stati posizionati in prossimità delle sale pompe, dei collettori di fondo dei cilindri tumulati e dei bacini di contenimento delle sfere e delle pensiline di carico.

Per le linee interne al deposito, l'azione dei sensori di gas comporta l'immediata attivazione del sistema di blocco con intercettazione della linea stimata in circa un minuto.

Per le linee dagli impianti di produzione è stata valutata la possibilità di non intervenire automaticamente per non mettere in crisi l'impianto di produzione con blocchi che possono rivelarsi spuri. Pertanto si segnala l'allarme e, quindi, si valuta l'effettivo stato del deposito prima di azionare il blocco, mettendo in emergenza l'impianto collegato. La durata totale dell'intervento è stimata di 5 minuti.

Il rilascio di GPL prosegue, comunque, sino al completo svuotamento della linea intercettata.

2.5 Evoluzione degli scenari incidentali

L'evoluzione di rilascio di propano o butano è stata analizzata a mezzo di alberi degli eventi, valutati nei due casi di perdita non intercettata e di tubazioni intercettate.

Gli scenari tipici sono riportati in figura 2.

Lo scenario rappresentato da UVCE è stato preso in considerazione qualora l'entità di rilascio e le condizioni atmosferiche consentissero di superare i 500 kg nel campo di infiammabilità. Tale limite è inferiore ai livelli minimi richiesti dal DM 15/05/96 (1500 kg).

Per aree particolarmente congestionate, semiconfinate, il limite è stato abbassato, valutando che un qualsiasi rilascio potesse comportare un'esplosione, saturando l'ambiente, in presenza di innesco.

I valori di probabilità di innesco e di evoluzione come UVCE sono stati tratti da banche dati accettate a livello internazionale.

Per la valutazione delle conseguenze a seguito di innesco immediato del quantitativo rilasciato da rottura catastrofica di una tubazione è stato assunto che l'entità dell'efflusso è tale da ridurre drasticamente la pressione all'interno della tubazione. In queste condizioni il fenomeno non è assimilabile ad un getto direzionale ma piuttosto ad un incendio in atmosfera senza quantità di moto. La stima delle distanze di danno è stata realizzata attraverso un modello di Fireball del quantitativo di gas rilasciato nei primi venti secondi.

Per l'analisi di fenomeni più complessi, come il BLEVE dell'autobotte in fase di carico è stato elaborato lo specifico "alberi degli eventi", che si riporta di seguito a titolo di esempio, in Figura 1.

L'albero si sviluppa a partire dal rilascio prolungato di GPL in fase liquida in zona di carico autobotte. Nella voce "impatto prolungato" è inserito parametro che tiene conto della efficienza del sistema antincendio che può mantenere fredda la parete dell'autobotte ed impedire sviluppi catastrofici.

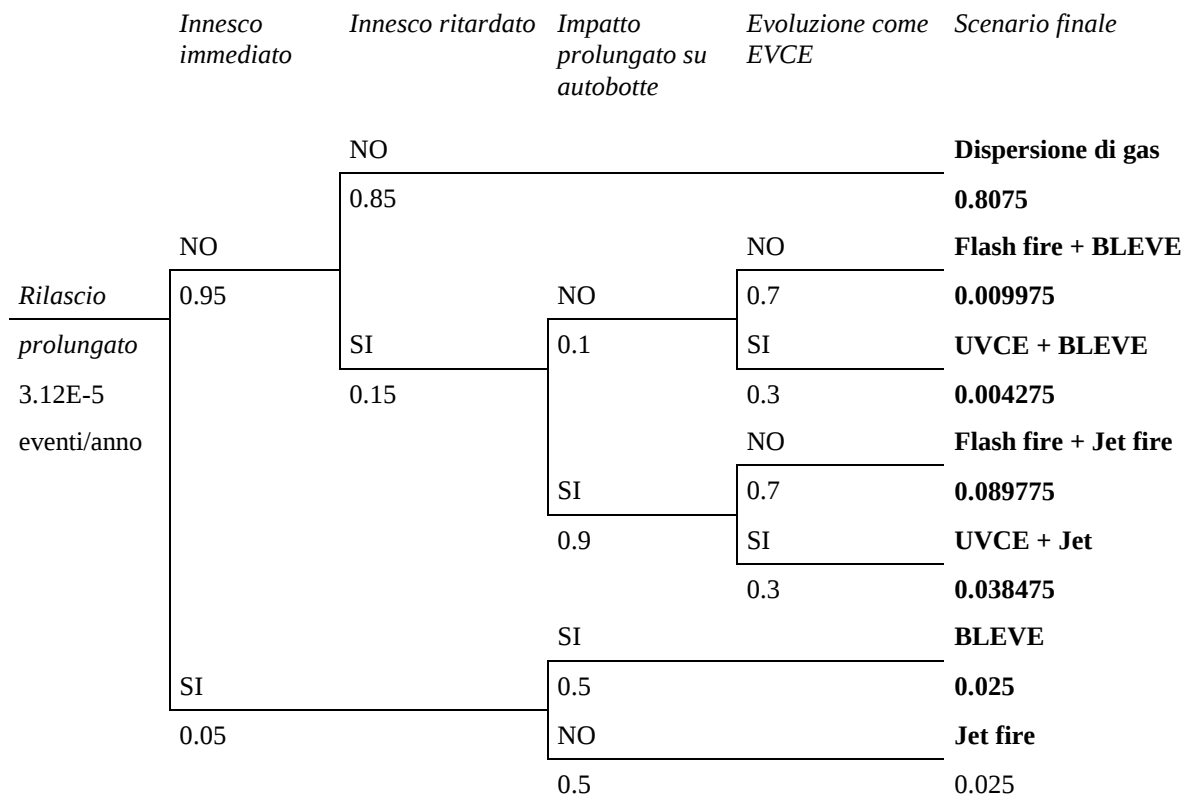


Figura 1. Albero degli eventi a seguito di rilascio prolungato in zona pensiline di carico autobotti.

Cumulando le probabilità di ciascuno scenario con la frequenza iniziale si ottengono i seguenti valori:

Dispersione gas:	$2.5194 \cdot 10^{-5}$ eventi/anno
Flash fire	$3.1122 \cdot 10^{-6}$ eventi/anno
UVCE	$1.3338 \cdot 10^{-6}$ eventi/anno
Jet fire	$4.7800 \cdot 10^{-6}$ eventi/anno
BLEVE	$1.2246 \cdot 10^{-6}$ eventi/anno

2.6 Effetti domino

L'escalation da piccolo rilascio a grave evento ha assunto un peso assai elevato sul computo totale del rischio associato al deposito.

I percorsi che assumono maggiore criticità sono stati valutati a mezzo di alberi degli eventi.

Gli aspetti analizzati sono:

1. *incendi di grandi dimensioni, a partire da piccoli jet iniziati su linee di piccolo diametro che corrono sullo stesso pipe-rack;*

la quantificazione di questi eventi è basata sulla valutazione dell'innesco immediato di rilasci da linee di piccolo diametro, sullo studio della disposizione delle linee sui principali pipe-rack, sulla individuazione delle direzioni di getto che possono sospingere le fiamme a lambire una tubazione di grande diametro e dalla stima del tempo necessario per produrre il collasso di tale linea.

L'eventuale rilascio di gas liquefatto andrebbe ad alimentare ulteriormente l'incendio dato che le fiamme lambenti forniscono l'immediato innesco.

2. *incendi di grandi dimensioni, a partire da piccoli pool fire iniziati su linee di piccolo diametro che corrono sullo stesso percorso di terra;*

la quantificazione di questi eventi si è sviluppata attraverso la valutazione della frequenza di pool fire a seguito rilasci da linee di piccolo diametro, lo studio della disposizione dei principali sleeper, l'individuazione delle dimensioni di pozza necessarie sospingere le fiamme a lambire una tubazione di grande diametro ed infine la stima del tempo necessario per produrre il collasso di tale linea.

L'eventuale rilascio di gas liquefatto andrebbe ad alimentare ulteriormente l'incendio dato che le fiamme lambenti forniscono l'immediato innesco.

3. *gravi rilasci provocati da danni su linee di trasferimento conseguenti esplosioni in aree confinate;*

la quantificazione di questi eventi si è basata sulla stima della frequenza di esplosioni confinate in aree particolarmente congestionate, sull'entità delle sovrappressioni conseguenti e sulla probabilità che tali sovrappressioni siano in grado di comportare danni gravi ai principali elementi delle linee di dimensione maggiore presenti (flange, valvole e stacchi).

L'eventuale danneggiamento di un elemento comporta l'ulteriore rilascio di gas liquefatto.

4. BLEVE della sfera di GPL come conseguenza finale di impatto di:

- jet fire proveniente da linee di liquido
- jet fire proveniente da linee di vapore;
- pool fire nel bacino di contenimento;
- impatto di frammento metallico a seguito BLEVE dell'autobotte in fase di carico.

Per gli impatti da irraggiamento è stato elaborato l'apposito "albero degli eventi" che ha tenuto conto della efficacia della coibentazione, dell'impianto di raffreddamento e della possibilità di intercettare la linea danneggiata.

Per l'impatto causato dall'urto di frammento di autobotte sul serbatoio, la valutazione è partita dalla frequenza attesa di Fireball di un autobotte in fase di carico. Ad essa è stato applicato un algoritmo specifico per la stima del numero di frammenti in relazione alla grandezza del mezzo, alle direzioni preferenziali di lancio, in relazione all'asse del veicolo ed alla grandezza minima del frammento capace di provocare il collasso del mantello della sfera.

2.7 Analisi di vulnerabilità

Per ciascun evento che può seguire l'innesco di un quantitativo di gas infiammabile, lo studio di vulnerabilità è stato condotto nell'ottica di valutare la probabilità di effetto mortale per un soggetto esposto all'evento. La vulnerabilità delle persone dipende dalla intensità dell'energia rilasciata dal fenomeno, dalla durata dello stesso e dalla posizione della persona relativamente alla ubicazione ed alla dinamica dell'evento.

La metodologia adottata per condurre questa analisi è basata su funzioni di vulnerabilità di Probit, in relazione alla esposizione all'irraggiamento termico, in caso di incendio e alle onde di pressione, in caso di esplosione.

Esposizione a UVCE

A seguito di analisi di letteratura sulle funzioni di Probit applicabili per la valutazione della vulnerabilità a seguito della esposizione alle onde di sovrappressione è stata scelta la funzione relativa alla vulnerabilità a seguito di danni gravi alle strutture abitative ("Green Book" - TNO) perché più conservativa. Tale funzione fornisce i valori di impulso e sovrappressione che possono causare crolli alle strutture con conseguente letalità per le persone eventualmente presenti.

L'applicazione delle formule proposte individua i livelli di criticità:

In via del tutto conservativa il valore di sovrappressione pari a 0.1 bar è stato assunto per la bassa vulnerabilità (11%), mentre il valore di sovrappressione pari a 0.175 è stato assunto per elevata letalità (100%).

Esposizione a Flash fire

Le distanze di danno relative al Flash fire sono state studiate in relazione alla concentrazione di gas infiammabile in atmosfera.

Nelle regioni in cui la concentrazione è superiore al valore del LFL, l'incendio copre tutta l'area, comportando la totale vulnerabilità delle persone esposte. Il fattore di vulnerabilità è stato pertanto assunto pari al 100%.

Nelle regioni in cui la concentrazione è compresa tra LFL/2 e LFL è stato deciso di non trascurare la possibilità di incendio. Infatti in particolari condizioni ambientali e geografiche, il gas potrebbe formare delle sacche a concentrazione più elevata ed innescarsi comunque.

In considerazione del fatto che la nuvola di gas infiammabile non copre tutta la regione tra LFL/2 e LFL, è stato assunto un fattore geometrico pari a 0.2, ad indicazione del fatto che si presume che la nube riesca a coprire soltanto un quinto del volume nel quale la concentrazione è compresa tra LFL/2 e LFL.

Esposizione a jet fire e pool fire

Le conseguenze per una persona esposta a jet fire o pool fire sono state analizzate attraverso funzioni di Probit relative ad irraggiamenti termici costanti.

Secondo le funzioni di Probit per una esposizione prolungata di 30 secondi, l'irraggiamento pari a 27.5 kW/m² comporta una vulnerabilità pari al 100% di letalità mentre l'irraggiamento pari a 12.5 kW/m² comporta una vulnerabilità pari al 50% di letalità.

Per quanto riguarda il jet fire, in aggiunta al fattore di esposizione, è stato inserito nel calcolo un fattore geometrico per tenere conto della elevata direzionalità del fenomeno.

Esposizione a Fireball

Le conseguenze per una persona esposta a Fireball sono state analizzate attraverso funzioni di Probit relative ad irraggiamenti termici variabili.

Tali funzioni introducono il concetto di dose derivante da una esposizione di breve durata di elevati valori di irraggiamento.

2.8 Distanze di danno

Le simulazioni delle conseguenze sono state effettuate con l'ausilio di modelli matematici riconosciuti a livello internazionale, in particolare il WHAZAN II della DNV Technica ed EFFECTS2 del TNO olandese.

I criteri di scelta delle distanze massime sono basati sulla vulnerabilità della popolazione esposta, come riportato nel precedente paragrafo.

Le condizioni meteorologiche di riferimento sono basate sulla media dei valori tipici della zona. I valori ottenuti sono stati raggruppati nelle due categorie più significative:

- classe di stabilità D e velocità del vento 3.2 m/s;
- classe di stabilità F e velocità del vento 2.6 m/s.

Nel calcolo sono state prese in considerazione le otto direzioni principali del vento con le proprie frequenze di provenienza.

2.9 Valutazione del rischio

La quantificazione del rischio associato alla installazione industriale è definita attraverso due strumenti complementari:

- RISCHIO INDIVIDUALE (rappresentato mediante curve di Isorischio)
- RISCHIO COLLETTIVO (rappresentato mediante curve F-N)

RISCHIO INDIVIDUALE

Il rischio individuale è definito come la frequenza con la quale un individuo risulta potenzialmente coinvolgibile in un incidente letale, a seguito della sua presenza continuata nella regione attorno alla installazione, escludendo qualsiasi mitigazione determinata da possibilità di fuga e/o dalla disponibilità di mezzi protettivi.

Il rischio è presentato in termini di contorni di isorischio attorno alla installazione che delimitano regioni entro le quali è stimato un determinato valore di frequenza di letalità.

I profili sono rappresentati in termini di eventi per anno; naturalmente maggiore è il numero associato alla regione, è più elevata è la frequenza con cui è possibile essere coinvolti in un incidente letale.

CRITERI DI ACCETTABILITÀ DEL RISCHIO INDIVIDUALE

La accettabilità del rischio individuale è legata alla estensione delle curve di isofrequenza. I criteri di accettabilità definiti dall'ente HSE britannico. I principali criteri sono rappresentati in tabella:

Posizione dell'individuo	Rischio massimo accettabile (eventi/anno)
All'interno dello stabilimento	$1.0 * 10^{-3}$
All'esterno dello stabilimento	$1.0 * 10^{-4}$
Nuclei abitativi agricoli	$1.0 * 10^{-5}$
Zone residenziali	$1.0 * 10^{-6}$

CALCOLO DEL RISCHIO INDIVIDUALE

La valutazione del rischio individuale, IR, in un generico richiede il calcolo cumulativo dell'impatto in termini di frequenza di tutti i possibili scenari incidentali individuati. In termini numerici è possibile rappresentarlo in questo modo:

$$IR_{(x,y)} = \sum_{i=1}^n IR_{(x,y),i} \quad (2)$$

Essendo: $IR_{(x,y)}$ = Rischio Individuale totale nel punto (x,y).
 $IR_{(x,y),i}$ = Rischio Individuale nel punto (x,y) dovuto allo scenario i-esimo.
 n = Numero totale di scenari incidentali considerati nell'analisi.

I valori di input sono ricavati dalla seguente espressione:

$$IR_{(x,y),i} = f_i \cdot pd_i \cdot pr_i \quad (3)$$

Essendo: f_i = Frequenza associata allo scenario i-esimo (valutata attraverso alberi degli eventi).
 pd_i = Fattore di impatto dell'evento (tiene conto della direzione del vento, della classe di stabilità atmosferica, etc.).
 pr_i = probabilità di decesso per soggetto esposto (valutata con l'analisi di vulnerabilità).

Questa procedura deve essere ripetuta per tutti i punti delle regioni interessate ai potenziali incidenti.

Nella applicazione in esame, la regione esterna al deposito è stata suddivisa in un reticolo di lato pari a 25 metri. Per ciascun punto posto ai vertici dei quadrati del reticolo è stata calcolato il contributo al rischio individuale fornito da tutti gli scenari incidentali individuati.

Interpolando le frequenze dei vari punti calcolati è stato così possibile definire l'andamento delle profili di isorischio per le regioni circostanti il deposito di GPL, così come sono rappresentati in Figura 2.

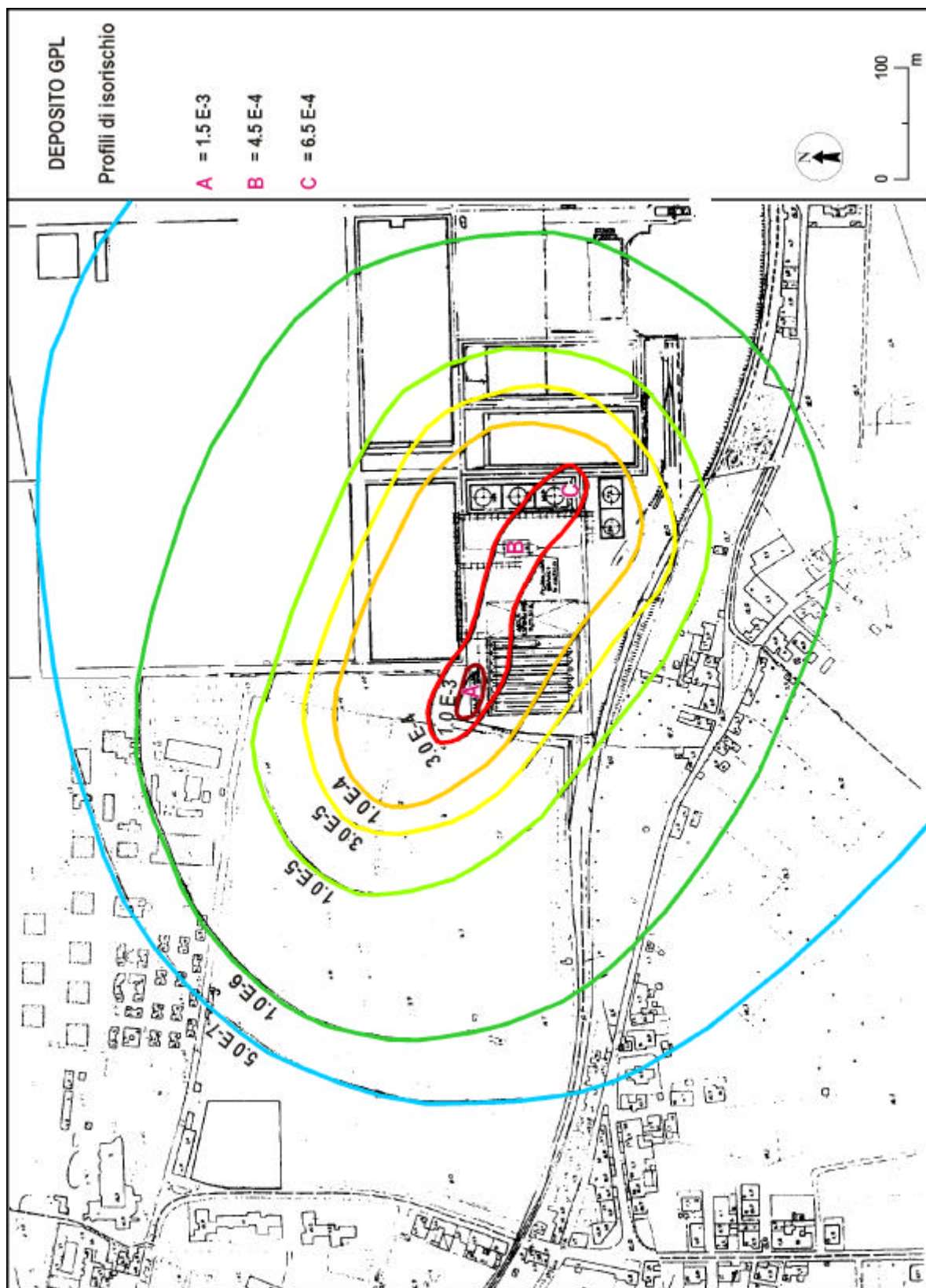


Figura 2. Profili di isorischio per le regioni circostanti il deposito di GPL.

Lo studio all'interno del deposito è stato limitato a tre punti critici corrispondenti alle due sale pompe ed alla stazione di carico delle autobotti, essendo questi gli unici luoghi per i quali è prevista la presenza prolungata di operatori in turno.

RISCHIO COLLETTIVO

Il Rischio Collettivo è definito mediante la valutazione della frequenza globale degli incidenti dovuti alla attività del deposito che possono causare N o più decessi.

Esso è presentato mediante l'andamento della curva F-N che correla il numero di decessi atteso con la corrispettiva frequenza di accadimento.

Il calcolo del Rischio Collettivo tiene conto l'effettiva presenza di persone nel territorio circostante e dalla vulnerabilità che esse hanno in relazione alla possibilità di fuga e dalla disponibilità di ripari.

CRITERI DI ACCETTABILITÀ DEL RISCHIO COLLETTIVO

La accettabilità del rischio collettivo, legata anch'essa ai criteri formulati dall'ente HSE britannico, è legata al numero di decessi attesi nel territorio. I principali criteri sono i seguenti:

- il Rischio Collettivo è considerato accettabile qualora la frequenza F di N o più decessi è tale da soddisfare la seguente disequazione: $F < \frac{3 \cdot 10^{-4}}{N}$, per $1 < N < 1000$;
- il Rischio Collettivo è considerato non accettabile qualora la frequenza F di N o più decessi è tale da soddisfare la seguente disequazione: $F < \frac{3 \cdot 10^{-3}}{N}$ per $1 < N < 1000$;
- qualora la frequenza F di N o più decessi risulti all'interno dell'intervallo: $\frac{3 \cdot 10^{-4}}{N} < F < \frac{3 \cdot 10^{-3}}{N}$ per $1 < N < 1000$, il Rischio ricade all'interno della regione definita ALARP e si considera accettabile a patto che siano messe in atto tutte le possibili e ragionevoli misure di sicurezza aggiuntive atte a ridurre le eventualità di accadimento di incidente.

CALCOLO DEL RISCHIO COLLETTIVO

In termini di applicazione, il primo requisito è quello di ottenere informazioni sulla popolazione dei territori circostanti. In particolare sono stati acquisiti dati su:

- tipologia della popolazione (residente, in uffici, in scuole, in ospedali, etc.) per stabilire gli effetti di mitigazione.
- effetti derivanti dall'ora del giorno e sul giorno della settimana (per scuole, uffici, traffico stradale).
- percentuale di persone mediamente poste all'interno di fabbricati per stabilire ulteriori effetti compensativi.

Per ciascuna categoria di persone è stata stimata la permanenza media nella zona nell'arco della giornata e la propria vulnerabilità ai diversi eventi in modo da ottenere opportuni fattori riduttivi circa la possibilità di decesso.

Un ulteriore fattore compensativo è stato applicato per considerare la riduzione della vulnerabilità del personale di stabilimento che comunque in caso di grave pericolo viene opportunamente allertato dai mezzi di segnalazione.

La procedura di calcolo del Rischio Collettivo, SR, prevede quindi la valutazione del numero atteso di decessi per ciascuno scenario incidentale, attraverso la seguente formula:

$$N_i = \sum_{(x,y)} p_{(x,y)} \cdot pd_i \cdot pr_i \quad (4)$$

- Essendo: N_i = Numero di decessi attesi a seguito dello scenario incidentale i-esimo.
 $p_{(x,y)}$ = Numero di persone presenti nel punto (x,y).
 pd_i = Fattore di impatto dell'evento (tiene conto della direzione del vento, della classe di stabilità atmosferica, etc.).
 pr_i = probabilità di decesso (valutata attraverso la analisi di vulnerabilità).

Questa procedura conduce per ciascuno scenario incidentale alla formulazione della frequenza di accadimento corrispondente ed al numero di decessi che comporta.

Le frequenze si cumulano nel seguente modo:

$$F_N = \sum_i F_i \quad (5)$$

Essendo: F_N = Frequenza globale di tutti gli scenari che comportano N o più decessi.
 F_i = Frequenza dello scenario i-esimo che comporta N o più decessi.
 N_i = Numero di decessi derivanti dallo scenario i-esimo.

Interpolando i punti così determinati, è possibile ottenere la curva F/N , riportata in Figura 3.

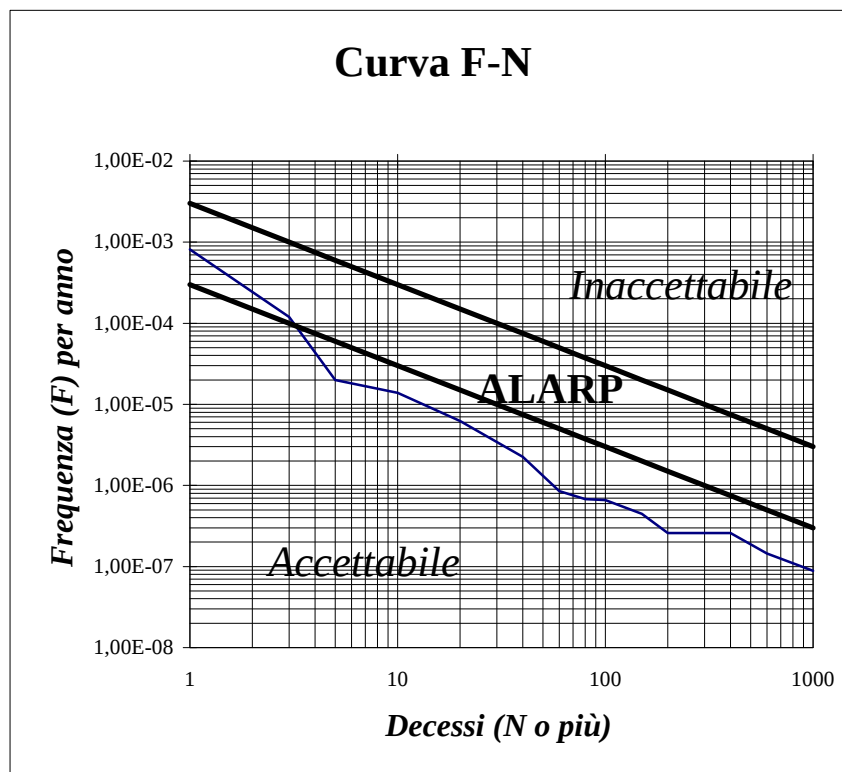


Figura 3. Curva F-N per le regioni circostanti il deposito di GPL.

2.10 Discussioni dei risultati

RISCHIO INDIVIDUALE

A seguito delle scelte impiantistiche effettuate, per le regioni esterne al deposito i criteri sono interamente soddisfatti, rendendo, così, l'installazione in fase di progetto compatibile con il territorio circostante.

La nuova sala pompe presso i cilindri tumulati risulta essere una zona nella quale il rischio individuale è superiore a 10^{-3} eventi/anno e quindi non strettamente accettabile. Tuttavia l'entità del rischio è legata al numero estremamente elevato di tubazioni, di pompe e connessioni varie.

La possibilità di ridurre il valore del Rischio è legata ai seguenti elementi:

- utilizzo di componenti (pompe, flange, valvole) ad elevata affidabilità;
- utilizzo di criteri rigorosi nella scelta dei materiali, nella progettazione delle linee, nella saldatura e nella posa delle stesse.
- potenziare l'impianto di protezione antincendio.

RISCHIO COLLETTIVO

La curva rappresentativa ricade all'interno della zona di accettabilità per tutti i valori con $N > 3$ confermando, così, la compatibilità dell'installazione in fase di progetto con il territorio circostante.

Per $N < 3$, la curva ricade nella regione ALARP. Questo insieme rappresenta senza dubbi eventi che rimangono all'interno del deposito che coinvolgono gli operatori in turno.

Il contributo maggiore è fornito dalla pensilina di carico autobotti in quanto presso tale zona è prevista la prolungata presenza (6 ore al giorno per 5 giorni a settimana) di due operatori di stabilimento e l'autista del veicolo.

La possibilità di ridurre il valore del Rischio è legata ai seguenti elementi:

- utilizzo di componenti (pompe, flange, valvole) ad elevata affidabilità;
- utilizzo di criteri rigorosi nella scelta dei materiali, nella progettazione delle linee, nella saldatura e nella posa delle stesse.
- prevedere l'installazione di mezzi aggiuntivi per impedire il movimento intempestivo dell'autobotte in fase di carico.

3 CONCLUSIONI

L'applicazione della analisi quantitativa del rischio associato ad un deposito di GPL ha fornito utili indicazioni sulla realizzabilità del progetto.

Il grado di dettaglio della analisi richiede, infatti, l'analisi molto approfondita di numerosi aspetti legati al progetto a livello di lay-out, di sistemi di controllo, di misure antincendio e di emergenza.

In particolare, gli elementi di confronto con il territorio circostante, che nel Rischio Individuale sono a carattere assoluto, mentre nel Rischio Collettivo sono strettamente legati alla realtà specifica della zona, consentono di estendere l'aspetto sicurezza dalla problematica interna allo stabilimento alla piena compatibilità con lo specifico esterno.

In questo senso, l'analisi, risulta essere un valido strumento di assistenza alla progettazione di base, in quanto, grazie alla varietà di elementi che tiene in considerazione, consente di valutare le scelte più opportune per la riduzione del rischio a livelli compatibili con gli operatori in campo e con le persone all'esterno.

GLOSSARIO

P&ID	(Piping and Instrumentation diagram) Diagramma riportante la descrizione dettagliata delle linee di un impianto con evidenziate le connessioni e la strumentazione.
UVCE	(Unconfined vapour cloud explosion) Esplosione non confinata di vapori in atmosfera con sviluppo di onde di sovrappressione.
Flash fire	Combustione di vapori in atmosfera senza fenomeni di sovrappressione.
Pool fire	Incendio di una pozza di liquido infiammabile.
Jet fire	Incendio di un getto in pressione di vapori infiammabili.
BLEVE	(Boiling liquid expanding vapour explosion) Collasso di una apparecchiatura per espansione repentina di liquido bollente con formazione di nube infiammabile.
Fireball	Incendio in atmosfera a seguito di rilascio istantaneo di elevata quantità di vapori infiammabili.
ALARP	(As low as reasonably possible) Denominazione della zona in cui può ricadere il rischio collettivo. La configurazione impiantistica è accettabile a patto che siano messe in atto tutte le misure ragionevoli per ridurre il livello di rischio.

BIBLIOGRAFIA

- "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis" - CCPS, 1989
- "Guidelines for use of vapor cloud dispersion models"- CCPS, 1993
- "Hydrocarbon leak and ignition data base", E&P Forum report - DNV Technica, 1992
- "Methods for calculation of physical effects", Yellow book - TNO, 1997 - CPR 14E
- "Methods for determination of possible damage", Green book - TNO, 1989
- "Loss prevention in chemical industries" - F.P. Lees, 1979
- "Rijnmond Report" - Cremer & Warner
- "Reliability data handbook" - RM Consultants, 1988
- Whazan II, Process hazards screening user manual - DNV Technica