
Analisi dei Rischi su distributore stradale di GPL

Franco Antonello, Fausto Zenier - ARTES Srl

SOMMARIO

L'applicazione delle metodologie dell'analisi di rischio prevista per le attività a rischio di incidente rilevante su un "tipico" distributore stradale di GPL realizzato secondo la più aggiornata normativa mostra l'adeguatezza delle misure di sicurezza previste, che appaiono atte a minimizzare i pericoli anche nel caso di ipotesi di incidente a remota probabilità di accadimento. Le tecniche adottate, utili anche per la valutazione dei rischi su installazioni similari, portano a stimare le distanze di sicurezza sufficienti per evitare rischi di un incidente grave connessi con i moderni distributori stradali.

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Un impianto di distribuzione stradale di GPL è costituito essenzialmente dai seguenti elementi:

1. **Uno stoccaggio**, costituito da uno o due serbatoi interrati collocati in cassa di contenimento di cemento armato (senza impianto di protezione catodica) oppure interrati/ricoperti e dotati di impianto di protezione catodica. La capacità massima complessiva di stoccaggio è di 100 m³, ottenibile mediante due serbatoi aventi capacità massima di 50 m³ ciascuno;
2. **Un punto di riempimento**, adibito allo scarico da autocisterne del GPL liquido, munito di due manichette flessibili, una per la fase liquida e una per la fase gas, allo scopo di effettuare lo scarico a circuito chiuso del prodotto;
3. **Una o più elettropompe** (o pompe fluidodinamiche) adibite all'erogazione del gas di petrolio liquefatto, installate immerse in barrel interni o esterni ai serbatoi fissi oppure esternamente sotto tettoia;
4. **Una pompa e/o un compressore** adibiti al rifornimento dei serbatoi;
5. **Uno o più apparecchi di distribuzione** (colonnine), a semplice o doppia erogazione.
6. **Locali destinati a servizi accessori** (ufficio del gestore, locali vendita, magazzini, servizi igienici, impianti di lavaggio, posti di ristoro, officina ecc.).

Le dotazioni di sicurezza, che vengono considerate per la stima probabilistica del rischio e per la valutazione degli effetti di eventuali incidenti, sono:

STOCCAGGIO

- ⇒ Valvole di sicurezza.
- ⇒ Indicatore di livello a segnalazione continua.
- ⇒ Segnalatore indipendente di allarme ottico e/o acustico per alto livello, con blocco del riempimento per altissimo livello.
- ⇒ Manometro e termometro per la misura di pressione e temperatura del prodotto contenuto nel serbatoio.
- ⇒ Valvole di intercettazione comandate a distanza tramite pulsanti d'emergenza sulle linee fase gas e fase liquida, in grado di isolare il serbatoio sezionando sia le tubazioni in entrata (lato riempimento) che quelle in uscita (lato invio a colonnine di distribuzione).
- ⇒ Valvola di non ritorno sulla tubazione in entrata al serbatoio (linea di riempimento).
- ⇒ Valvola di non ritorno (o di eccesso di flusso) sulla tubazione fase gas di ritorno dagli apparecchi di distribuzione.
- ⇒ Valvola di eccesso di flusso sulla tubazione di riempimento fase gas.

Inoltre, i serbatoi devono essere protetti dagli urti, ad es. mediante recinzione in rete metallica sostenuta da pali (o realizzata con grigliati metallici), su cordolo di calcestruzzo.

TUBAZIONI

- Realizzate in acciaio e per lo più interrate o protette da eventuali urti accidentali, con incamiciatura metallica provvista di distanziatori verso la tubazione interna e di sfiati con rete tagliafiamma (ad altezza di 1,5 m dal piano di campagna), oppure in cunicolo ispezionabile ed impermeabile, riempito di sabbia e provvisto di lastre di copertura; nel caso di serbatoi interrati o ricoperti (senza cassa di contenimento), le tubazioni devono essere sistemate in letto di posa di sabbia, con collegamento all'impianto di protezione catodica.
- Installate e sostenute in modo da assorbire adeguatamente dilatazioni o contrazioni dovute alla temperatura ed eventuali sforzi causati dagli apparecchi ad esse collegati.
- Le tubazioni di collegamento all'apparecchio di distribuzione sono dotate di valvola di eccesso di flusso e di valvola di blocco per impedire un'eventuale fuoriuscita di gas in caso di rottura/distacco dell'apparecchio di distribuzione (dovuta ad es. ad urto accidentale).

POMPE / COMPRESSORI

- Pompe immerse in barrel interni od esterni ai serbatoi fissi, oppure esterne sotto tettoia, evitando l'installazione in aree poco ventilate
- I compressori di riempimento devono essere installati a livello del piano campagna, in prossimità dei serbatoi fissi e schermati dall'area destinata alla sosta dell'autocisterna tramite muretto di calcestruzzo. Devono inoltre essere dotati di dispositivo antiliquido in aspirazione e di separatore di olio. I compressori di tipo volumetrico devono essere dotati di valvola di sicurezza sul lato mandata.

Pompe e compressori devono essere progettati per la massima pressione raggiungibile durante l'esercizio, e comunque per una pressione non inferiore ai 30 bar. Tali dispositivi devono inoltre essere protetti dagli urti, ad es. tramite recinzione in rete metallica sostenuta da pali (o realizzata con grigliati metallici), su cordolo di calcestruzzo.

PUNTO DI RIEMPIMENTO SERBATOIO

- Valvole di eccesso di flusso sia dal lato autocisterna che dal lato impianto fisso (quest'ultima collegata direttamente alla valvola di intercettazione posta nel tratto terminale dell'impianto fisso).
- Valvola di intercettazione sull'estremità di attacco all'autocisterna.

Il riempimento avviene solo se sono rispettate tutte le seguenti condizioni:

- ↳ il motore dell'autocisterna è spento (le autocisterne possono scaricare con il motore acceso solo se fornite di sistema di sicurezza ESD, e con rompifiamma montato sul tubo di scarico)
- ↳ le ruote dell'autoveicolo sono bloccate
- ↳ l'autocisterna e il serbatoio siano collegati in modo da assicurare la continuità elettrica e quindi portati a massa tramite una presa di messa a terra.

APPARECCHI DI DISTRIBUZIONE

Gli apparecchi di distribuzione (del tipo approvato dal Ministero dell'Interno) devono essere dotati di valvola antistrappo posizionata a monte del tubo flessibile di erogazione e collegati elettricamente a terra.

SISTEMI DI SICUREZZA E ANTINCENDIO

L'impianto deve inoltre essere dotato di un sistema di emergenza, costituito da pulsanti collocati nei punti operativi che comandano il sezionamento delle linee in entrata e in uscita dal serbatoio la fermata delle pompe/compressori e l'entrata in funzione del sistema ESD dell'autocisterna, e di mezzi e/o impianti antincendio che consistono in:

- estintori portatili e/o carrellati
- rete idrica ed idranti UNI45 per impianti di capacità superiore a 30 m³,

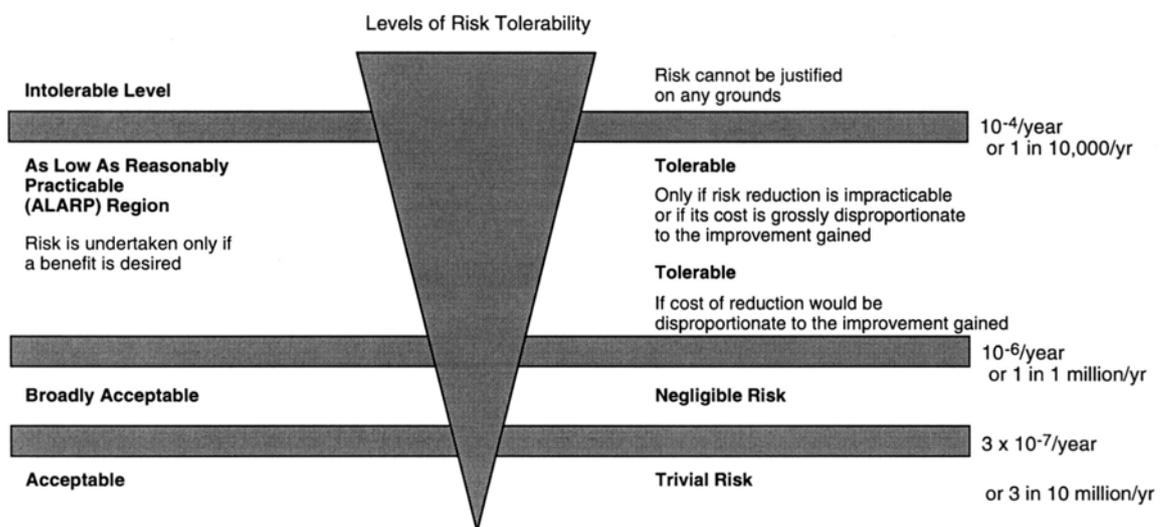
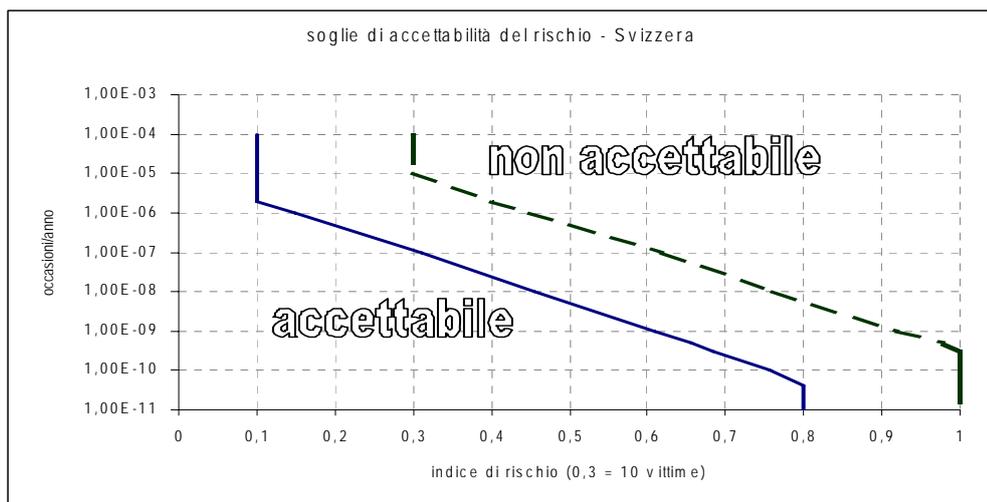
CRITERI E METODOLOGIE ADOTTATE PER LE VALUTAZIONI

Allo scopo di individuare quali possano essere gli incidenti localizzabili nell'impianto in oggetto, quindi di verificare l'efficacia delle misure di sicurezza previste e adottate, si è scelto di seguire i criteri indicati dalla normativa nazionale ed internazionale per l'analisi dei rischi di incidente su impianti ed installazioni industriali [1, 2, 3, 4].

L'identificazione dei casi di incidente ragionevolmente ipotizzabili, definiti anche incidenti di riferimento, viene effettuata sulla base della credibilità, o verosimiglianza, di ciascuna ipotesi. Appare infatti imprescindibile l'esigenza di prevedere misure di prevenzione, oltre che in funzione dell'efficacia, anche in relazione ad ipotesi non accademiche o rischi teorici.

In altri termini, appare necessario individuare casi credibili di incidente ai quali riferirsi per la definizione del livello di sicurezza, che può essere assicurato solo con misure ed azioni di prevenzione semplici, concrete e fattibili, da individuare attraverso un'analisi costi-benefici. D'altronde, la distinzione tra scenari incidentali credibili ed ipotesi teoriche è ormai una prassi consolidata in moltissimi paesi.

In vari paesi, europei ed extraeuropei, si è ufficializzato tale criterio anche per i rischi connessi con determinate attività industriali, definendo soglie di accettabilità o tollerabilità del rischio sulla base dei benefici sociali ed individuali apportati da un'economia industriale, cioè dalla presenza di attività che comportano anche occupazione, reddito, benessere in genere. Due esempi sono riportati di seguito.



Gran Bretagna [7]

In Italia, questo criterio ha iniziato ad essere ufficialmente adottato in alcuni studi di rischio, effettuati per conto di Enti o Amministrazioni pubbliche ^[5] negli anni 1990-1993, acquisendo sempre maggior diffusione specialmente nel campo dei rischi di incidente rilevante ^[6]. Più recentemente è stato ufficializzato nelle Norme CEI sulla protezione contro le scariche atmosferiche (CEI 81-1 ed. 1995, tabella F.1 - valori tipici del rischio tollerabile) nell'ambito della procedura per la scelta del tipo di protezione.

Sulla scorta di tali indicazioni, si può concludere che la soglia di credibilità è una frequenza attesa dell'ordine di $1 \cdot 10^{-6}$ eventi/anno, risultando marginali o trascurabili quelli a frequenza inferiore.

Oltre alla definizione di una soglia probabilistica, è anche opportuno definire quali sono gli effetti ed i relativi parametri di misura in caso di incidente. Per fornire una rappresentazione delle conseguenze connesse con incidenti di un certo rilievo, si usa semplificare l'area interessata dagli effetti di danno in zone di forma circolare, con centro sulla sorgente dell'incidente e raggio pari alla distanza relativa alla soglia di danno predefinita. I valori di soglia assunti sono di seguito sintetizzati.

fenomeno fisico o scenario di incidente	elevata probab. di letalità	inizio letalità	lesioni irreversibili	lesioni reversibili	danni a strutture
INCENDIO STAZIONARIO (kW/m ²)	12,5	7	5	3	37 ⁽¹⁾
FIRE BALL (kJ/m ²)	raggio	350	250 ⁽²⁾	125	-
FLASH FIRE	LFL		50% LFL		-
ESPLOSIONI (bar)	0,3	0,14	0,07	0,03	0,3

Fatta eccezione per i riferimenti citati a margine dei valori, questi limiti sono gli stessi proposti nel testo citato in bibliografia ^[6]. Per quanto riguarda l'irraggiamento stazionario il tempo di esposizione è dell'ordine di un minuto (80 secondi ca), mentre per irraggiamenti variabili (fireball o flash fire) i tempi di esposizione sono dell'ordine di 10 secondi.

In merito alle caratteristiche di una ipotetica rottura, per installazioni del tipo di quella in esame e sulla base dell'esperienza storica, appaiono credibili eventi quali la perdita da flangia (ad es. in mandata pompa o sulle connessioni delle manichette al terminale fisso del serbatoio) o la foratura o fessurazione su manichetta o su tratti di tubazione. Tali eventi, in genere, si manifestano con dimensioni contenute, tuttavia, sulla scorta di molteplici indicazioni e fonti ^[8] si assume cautelativamente che il diametro equivalente del foro sia pari al 20% del diametro della tubazione.

METODOLOGIE DI ANALISI

L'analisi è stata svolta eseguendo una ricerca di casi di incidente registrati su installazioni similari mediante interrogazione di banche dati, stimando quindi la frequenza attesa di forature o perdite sulla scorta di dati affidabilistici di letteratura, valutando infine le conseguenze e l'estensione delle aree in cui possono esserci danni o pericolo mediante modelli matematici di simulazione.

RISULTATI DELL'ANALISI

La ricerca di casi storici riferita ad impianti di distribuzione stradale di GPL non ha condotto al reperimento di eventi dai quali trarre tutte le informazioni necessarie alla elaborazione di un'analisi, né in termini puntuali né tantomeno in termini statistici.

⁽¹⁾ Norma British Standard 5980 – ed. 1990. Norme API-521 (4.4.2.3.1) – ed. 1997

⁽²⁾ Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs – AIChE / Center for Chemical Process Safety (1994) – Lees 1996 Vol 2.16/256.

Ciò è imputabile soprattutto al fatto che le banche dati e fonti interpellate registrano prevalentemente incidenti rilevanti su attività industriali, ed anche se vi è qualche notizia di incidenti durante il rifornimento di serbatoi per uso domestico o per distributori stradali, la genericità delle informazioni registrate non consente un'analisi delle cause e dei fattori all'origine di tali eventi.

D'altro canto tale rarefazione di casi incidentali relativi ad impianti di questo tipo porta a concludere che il rischio ad essi associato sia limitato o marginale, riferito più che altro a piccoli incidenti caratterizzati da effetti contenuti nell'ambito aziendale.

L'unico caso di una certa rilevanza per il quale sono disponibili dati sulle cause e sulla dinamica dell'evento, riguarda un incidente avvenuto in Belgio circa 15 anni fa ("Revue Belge du Feu" - n. 78 - Dicembre 1985), nella periferia della città di Tournai.

L'evento è consistito in una perdita di GPL con formazione di una nube di gas che ha trovato innesco, probabilmente in un'autovettura, originando un flash fire e susseguente incendio.

La perdita è stata causata da un errore del gestore dell'impianto che, durante una lettura del livello del serbatoio perdeva l'equilibrio e si aggrappava ad una tubazione di piccolo diametro, provocandone la rottura.

È evidente che un caso di questo genere non si configura come un evento tipico, anche per le diversità che contraddistinguono gli impianti oggetto del presente studio, fra cui indicatori di livello facilmente accessibili o con segnale riportato a quadro, serbatoi interrati, valvole a chiusura rapida, ecc.

In conclusione, dalla ricerca storica sono emersi solo casi di incidente localizzabili presso la colonnina di rifornimento auto, che sono tuttavia riconducibili a perdite lievi o principi d'incendio controllabili con i mezzi di primo intervento previsti a servizio degli impianti.

In particolare, le tipologie di evento che risultano accadute sono sintetizzabili in:

- strappo della manichetta di collegamento alla pistola per movimento intempestivo dell'auto (in genere si tratta di utenti che muovono l'auto prima del distacco della pistola),
- urto di un automezzo contro la colonnina con rottura ed eventuale distacco della stessa,
- principio d'incendio nel motore dell'autovettura a seguito di malfunzionamenti all'atto dell'avviamento.

La stima della frequenza attesa di fuoriuscite è stata eseguita considerando le ore di esercizio previste per i vari componenti, l'intervallo di controllo e l'estensione dei circuiti delle tubazioni, come di seguito esposto.

- ◆ Per quanto riguarda il caso di **rottura su tubazione**, riferendosi ad un'installazione tipica, l'estensione delle linee adibite al riempimento e all'adduzione del liquido alle colonnine può essere stimata in circa 20 m. L'esercizio di queste linee viene cautelativamente considerato continuo, quindi ai fini del calcolo della frequenza attesa di rottura il tempo di esercizio viene assunto per tutte pari a 8760 ore/anno, cioè l'intero arco dell'anno.

Il rateo di rottura significativa su tubazione con DN50÷150 fornita in ^[9] è $1,67 \cdot 10^{-11}$ occasioni/(m-h): la frequenza attesa di una rottura per una linea tipica fase liquida (DN50) risulta quindi pari a **$2,93 \cdot 10^{-6}$ occ/anno**, mentre la rottura di una linea tipica in fase gas (DN25), cui corrisponde un rateo di guasto superiore ($1 \cdot 10^{-9}$ occasioni/(m-h) - fonte ^[10]) risulta pari a **$1,75 \cdot 10^{-4}$ occ/anno**.

Nell'ipotesi di rottura grave o significativa di una tubazione si ricomprendono anche eventi con magnitudo drasticamente inferiore, quali la perdita da valvole o il trafilamento da tenute su flange di tubazioni.

Per quanto riguarda la localizzazione di questo evento, si ipotizza che la rottura possa avvenire su una tenuta o su una flangia in mandata pompa della tubazione fase liquida, con diametro equivalente pari a **10 mm** (20% del diametro); la rottura sulla **fase gas** si assume invece localizzata in mandata compressori o comunque sulla linea di polmonazione dei serbatoi, con diametro equivalente pari a **5 mm**.

- ◆ Le operazioni di riempimento dei serbatoi con GPL liquido da autobotti avvengono tramite utilizzo di **manichette flessibili** (in genere DN40 e DN25) sia per il collegamento in fase liquida che in fase gas.

Il tempo di esercizio di questi componenti è stimato cautelativamente in circa 200 ore/anno (considerando una autobotte al giorno in fase di scarico con tempo di svuotamento di circa 30 minuti). Assumendo un rateo di rottura grave per le manichette pari a $5,7 \cdot 10^{-7}$ occ/ora ^[9], la frequenza attesa per una rottura su manichetta è di $1,14 \cdot 10^{-4}$ occ/anno.

L'eventualità di strappo della manichetta è intrinsecamente minimizzata dal fatto che in genere è lo stesso autista che presiede al riempimento, quindi risulta altamente improbabile che possa partire con l'automezzo se lo scarico non è terminato. La presenza di un sistema ESD sull'autobotte, inoltre, porta a remotizzare ancor più la probabilità di una tale evenienza per l'intervento del blocco motore che non consente la partenza fintantoché il travaso non è terminato. La frequenza attesa di una simile eventualità, che non risulta registrata dall'esperienza storica presso gli impianti di distribuzione, è stata stimata di un ordine di grandezza inferiore a quello della rottura significativa, considerando sia la mancanza di dati storici, sia la necessità di errori marchiani che sono ritenuti poco verosimili.

- ◆ La rottura o foratura di **serbatoi** risulta un'ipotesi che, pur non escludibile in assoluto, appare non ragionevolmente ipotizzabile, sia per la mancanza assoluta di dati storici su installazioni similari, sia per la bassa frequenza attesa in installazioni industriali. Peraltro, le cause più comuni di rottura, quali urti o corrosione o spinte idrostatiche possono essere escluse a priori sulla base delle caratteristiche costruttive previste. In ogni caso, anche per installazioni industriali la frequenza attesa di una simile ipotesi risulta inferiore o al margine della soglia di credibilità.

Anche la possibilità di infragilimento del materiale del serbatoio, connessa con un accidentale abbassamento di temperatura, appare non rientrare tra le ipotesi credibili. Tralasciando l'ipotesi di perdita dovuta a rottura, che può comportare abbassamento della temperatura sono con propano o miscela ricca in propano, in quanto la fuoriuscita stessa già si configura come incidente e comporta una riverifica di tutto l'impianto prima del riavviamento, si può escludere una depressurizzazione causata dalle pompe perché vi sarebbe il disinnescamento delle stesse, mentre l'aspirazione del compressore avviene solo per effettuare lo scarico dell'autobotte, quindi con collegamento a circuito chiuso tra serbatoio e autocisterna, quindi non appare ipotizzabile mettere in depressione il serbatoio.

- ◆ Non verosimili risultano anche i casi di urto da parte di macchine operatrici in movimento, che nella realtà dell'impianto in esame possono essere pressoché esclusi, in quanto i serbatoi e le tubazioni sono localizzati in un'area non interessata dal transito di mezzi e non sono prevedibili operazioni che richiedano l'uso di gru o similari.

- ◆ La perdita di gas causata da un **errore operativo** comprende una gamma di eventi connessi con operazioni quali il drenaggio, il collegamento di mezzi per il riempimento, le operazioni di manutenzione, (per esempio chiusura non corretta di flange o connessioni o valvole) la cui frequenza viene stimata in un campo tra 10^{-2} e 10^{-3} occ/anno, ma che, sotto il profilo della rilevanza o dell'entità di eventuali perdite, anche sulla base dell'esperienza storica, risultano eventi di piccola entità o ricompresi nella tipologia già considerata a proposito delle perdite da tubazione. Questo tipo di evenienze, inoltre, è correlato a periodi lavorativi brevi, durante i quali si svolgono le operazioni cui si riferiscono gli errori, quindi con presenza di personale che interviene immediatamente per risolvere il problema.

Considerando situazioni organizzative comprese nella media, con buona formazione ed addestramento degli operatori, l'ordine di grandezza dell'evento può essere ricavato dalla combinazione di una probabilità di errore (dalle fonti ^[10 ed altri] = $3 \cdot 10^{-3}$) di una probabilità di mancato rilievo dell'errore ($1 \cdot 10^{-1}$), dalle occasioni di errore (da 10 a 100/anno) ottenendo appunto un campo di valori tra 10^{-2} e 10^{-3} .

- ◆ Un'altra evenienza ipotizzabile è quella del sovrariempimento a seguito di errore umano durante la movimentazione.

Nel caso in esame l'ipotesi appare connessa con uno scarico dell'autocisterna su un serbatoio già pieno per errore concomitante dell'autista e dell'operatore. Se il riempimento è effettuato con compressore, una volta riempito il serbatoio si avrà

entrata di liquido nell'aspirazione del compressore con blocco dello stesso; nel caso di pompe con circuito di polmonazione vi sarà un ricircolo del GPL attraverso la linea gas, mentre nell'eventualità di riempimento con impianto di pompaggio dell'autobotte e senza il collegamento in fase gas si potrà avere l'apertura della valvola di sicurezza del serbatoio.

In tutti i casi interverranno l'allarme ed il blocco di alto livello, previsti appositamente per evitare tale eventualità.

La frequenza attesa dello sfioro di GPL liquido dalla SV del serbatoio è stata determinata con albero di guasto e riferendosi ad un impianto in cui vengono effettuati 150 riempimenti/anno con autobotti dotate di contaltri ed impianto di pompaggio, ottenendo un valore di $2,67 \cdot 10^{-7}$ **occ/anno**, inferiore alla soglia di credibilità.

- ◆ La frequenza attesa di sfiato di GPL gas da valvola di sicurezza è stata stimata riferendosi alla rottura della molla della valvola, che risulta praticamente l'unica causa, visto che il riscaldamento per incendio esterno non appare ipotizzabile con serbatoi interrati/tumulati. La perdita o trafileamento dalla tenuta della valvola è stata considerata rientrare nella tipologia di perdite o trafileamenti da tubazioni, a rischio marginale e coperte dalle prescrizioni delle norme CEI sull'antideflagranza. Tale evento, pur risultando essersi verificato nel passato in qualche caso, risulta comunque a bassa probabilità anche considerando l'incremento di affidabilità dei nuovi dispositivi di sicurezza conseguito con il passar del tempo. La frequenza attesa risulta $1,75 \cdot 10^{-3}$ **occ/anno**.
- ◆ La perdita per rottura della tenuta meccanica della pompa (rateo di rottura grave = $1,14 \cdot 10^{-8}$ occ/ora ¹⁰⁾) è stata stimata riferendosi ad un tempo di esercizio di circa 300 ore/anno, la frequenza attesa di perdita risulta $3,42 \cdot 10^{-6}$ **occ/anno**.

La sintesi delle ipotesi di incidente applicabili all'installazione è riportata nella seguente tabella che riassume anche i casi tipici sui quali si sono eseguite le simulazioni.

Caso	Evento	Frequenza occ/anno	Diam. eq. (mm)	Note
1	Rottura linea fase liquida, comprendente: Rottura tubazione DN50 fase liq. Sfioro SV per sovrariempimento Perdita per rottura tenuta meccanica	2,93E-6 2,93E-6 2,67E-7 3,42E-6	10	10 mm (20% Diam.) linea DN50 linea DN25 linea DN10
2	Rottura linea fase gas, comprendente: Rottura tubazione DN25 fase gas Rottura manichetta flessibile fase gas Perdita per errore umano	1,75E-4 1,75E-4 1,14E-4 1E-2÷1E-3	5	5 mm (20% Diam.) DN25 DN25
3	Sfioro da SV serbatoio	1,75E-3	50	DN50
4a	Rottura su manichetta di riemp. (liq)	1,14E-4	8	8 mm (20% Diam.)
4b	Strappo manichetta di riempim. (liq)	1,14E-5	40	100% Diam.

La valutazione degli effetti connessi con l'eventuale accadimento degli incidenti ipotizzati è stata eseguita con l'uso dei modelli di simulazione computerizzati S.T.A.R. Safety Techniques for Assessment of Risk (rel.3); vengono di seguito riassunte le principali considerazioni svolte per ognuno dei cinque casi tipici identificati in tabella, con l'esposizione dei risultati.

CASO 1 - rottura linea fase liquida

L'ipotesi considerata è la rottura su una tubazione DN50 che collega la fase liquida dei serbatoi al punto di riempimento; tale ipotesi ricomprende anche eventualità similari localizzabili in mandata pompe o lo sfioro di liquido da valvola di sicurezza, ecc.

Le variabili di calcolo principali adottate sono:

sostanza	miscela 50/50
temperatura della sostanza	293 K
pressione di rilascio	5 bar(abs)
lunghezza tubazione	20 m
diametro tubazione	50 mm
diametro equivalente foro	10 mm
temperatura ambiente	293 K
tipo di pavimentazione	Cemento

La portata di efflusso risulta pari a circa 0,3 kg/s, in regime bifase, quindi con formazione di aerosol o gocce di liquido buna parte delle quali è trascinata nell'atmosfera assieme ai vapori; data la bassa portata, per la simulazione della dispersione si considera, cautelativamente, il 100% della portata di rilascio.

Si suppone che la portata contenuta non comporti l'intervento delle valvole di eccesso di flusso, che saranno tarate per portate maggiori corrispondenti ad ipotesi di rottura diverse o più gravose, per cui è verosimile ipotizzare l'intervento manuale mediante pulsanti d'emergenza.

Nel caso di rilievo non immediato della perdita potrebbe passare qualche minuto prima che l'operatore agisca sui comandi d'emergenza: si è quindi considerato l'instaurarsi di un regime continuo della dispersione, nel quale l'elemento determinante per la stima della quantità massima di gas che va a formare miscela infiammabile è dato dalla portata e non dalla quantità fuoriuscita. La maggior quantità di miscela infiammabile si ha per condizioni atmosferiche caratterizzate da classe di stabilità F e velocità del vento 2 m/s (nel seguito indicate per brevità con F/2) e risulta dell'ordine di 1 kg, con LFL situato a 4 m dal punto di rilascio; il fenomeno atteso in caso di innesco è il FLASH FIRE che risulta associato ad una frequenza (determinata assumendo probabilità di innesco immediato pari a 0,1) pari a $8,15 \cdot 10^{-7}$ occ/anno. L'estensione delle aree interessate da effetti di danno risulta 4 m per LFL e 7 m per il 50% LFL.

CASO 2 - ROTTURA TUBAZIONE GPL IN FASE GAS

In questo scenario si considera una rottura sulla tubazione della fase gas in mandata compressore o comunque sulla linea di polmonazione, con un diametro equivalente corrispondente a 5 mm (20% del diametro per una tubazione tipica DN25); l'ipotesi è volta ad analizzare le possibili conseguenze o eventuali interazioni connesse con il verificarsi di un jet-fire, pur ricomprendendo anche perdite minori con o senza innesco.

Lo scenario atteso è determinato dal tipo di efflusso (jet in fase gas) e viene simulato in base ai seguenti parametri e condizioni:

sostanza	miscela 50/50
temperatura della sostanza	293 K
pressione di rilascio	5 bar(abs)
diametro tubazione	25 mm
diametro equivalente foro	5 mm
temperatura ambiente	293 K
quota di efflusso	1 m

La portata di efflusso risulta di 0,02 kg/s con velocità di 224 m/s che favorisce il richiamo d'aria nel jet contribuendo alla rapida diluizione del gas che fuoriesce. La simulazione è stata condotta applicando un modello di calcolo denominato Ooms (dal nome dell'autore principale) adatto a jet turbolenti di gas pesanti, riferendosi alle ipotesi di jet verticale ed ottenendo i risultati di seguito illustrati:

parametri	distanza	quota
concentrazione UFL	<1 m	a. s.
concentrazione LFL	1 m	2,7 m
massa in campo di infiammabilità	0,1 kg	

a.s. = adiacenze della sorgente o del foro

Questa limitata massa di gas in campo di infiammabilità fa senz'altro escludere l'ipotesi di un'esplosione nel caso di innesco e comporta effetti contenuti anche nell'ipotesi di jet fire.

Il calcolo dell'irraggiamento determinato da questo fenomeno, eseguito con un modello di tipo puntiforme, mostra che l'irraggiamento è contenuto a qualche metro dall'origine del jet, con una lunghezza di fiamma dell'ordine massimo di un metro.

CASO 3 - SFIATO DA VALVOLA DI SICUREZZA (SV)

L'ipotesi di sfiato dalla valvola di sicurezza (SV) viene riferita alla rottura della molla della valvola, in quanto un trafilamento comporta portate di efflusso senz'altro minori e l'incendio esterno può essere escluso per il fatto che i serbatoi sono interrati. La rottura di componenti (molla della SV) appare la causa con frequenza di accadimento più rilevante rispetto ad altre anomalie, risultando pari a $1,75 \cdot 10^{-3}$ occ/anno. Peraltro occorre puntualizzare che un tale dato è verosimilmente sovrastimato, poiché le banche dati riportano valori mediati su periodi abbastanza lunghi e non sempre recenti: in presenza di componenti nuovi, in virtù della continua evoluzione tecnologica dei materiali, e con intervalli di controllo dell'ordine di uno o due anni si può senz'altro indicare una frequenza attesa notevolmente inferiore.

Il caso di rottura della molla della valvola è associato ad una pressione che, verosimilmente, sarà quella di esercizio dei serbatoi, quindi inferiore alla pressione di scatto. L'efflusso del gas comporterà il raffreddamento del liquido all'interno del serbatoio, con riduzione della pressione e della densità, quindi anche della portata, fino all'intervento del personale che potrà chiudere l'efflusso operando sugli intercetti a monte delle valvole.

Con una portata di efflusso calcolata dell'ordine di 1,1 kg/s dallo sfiato DN50 posto a quota 5 m dal piano stradale si avrà un'emissione di gas ad alta velocità, con formazione di un jet le cui caratteristiche risultano:

parametri	distanza	quota
concentrazione UFL	1 m	8,6 m
concentrazione LFL	3 m	10,3 m
massa in campo di infiammabilità	<1 kg	

Anche per questo scenario la limitata quantità di miscela in campo di infiammabilità porta ad escludere un'esplosione in caso di innesco, configurando come credibile solo l'ipotesi di jet fire alla quale, tuttavia, va associata una frequenza dell'ordine almeno di 10^{-5} occasioni/anno, se non inferiore tenendo conto della quota a cui si trova la miscela infiammabile. In tal caso le aree di pericolo per irraggiamento superiore alle soglie risultano tuttavia contenute, come riportato nella seguente tabella.

Effetti	KW/m ²	Estensione (m)
letalità elevata (12,5 kW/m ²)	12,5	5
inizio letalità (7 kW/m ²)	7	9
lesioni irreversibili (5 kW/m ²)	5	12
lesioni reversibili (3 kW/m ²)	3	15
danni alle strutture (37 kW/m ²)	37	a.s.

CASO 4 - ROTTURA MANICHETTA DI SCARICO AUTOBOTTI

Questa ipotesi viene suddivisa in due scenari, uno relativo alla fessurazione della manichetta, il secondo riferito alla rottura totale della manichetta per strappo connesso ad un movimento dell'autobotte per errore durante il riempimento. Le frequenze attese stimate dei due scenari risultano:

- fessurazione durante lo scarico di un autobotte $1,14 \cdot 10^{-4}$ occ/anno
- rottura totale (100% del diametro) per strappo a seguito di partenza intempestiva del mezzo: $1,14 \cdot 10^{-5}$ occ/anno.

Le variabili adottate per il calcolo sono:

IPOSTESI	A	B
sostanza	miscela 50/50	miscela 50/50
temperatura della sostanza	293 K	293 K
pressione di rilascio	5 bar(abs)	5 bar(abs)
lunghezza manichetta	5 m	5 m
diametro manichetta	40 mm	40 mm
diametro equivalente foro	8 mm	40 mm
temperatura ambiente	293 K	293 K
tipo di pavimentazione	cemento	cemento

Gli scenari che possono verificarsi dipendono dall'intervento dei sistemi di sicurezza, per cui si esaminano separatamente le diverse situazioni riferendosi ad entrambi i casi ipotizzati.

4.a Intervento valvole intercetto tramite pulsante emergenza

Nel caso di fessurazione la portata di rilascio risulta essere di circa 0,2 kg/s in regime bifase, insufficiente quindi a far scattare le valvole di eccesso di flusso, per cui l'interruzione della perdita sarà assicurata mediante intervento delle valvole di chiusura rapida con comando a distanza, azionate dal personale. La durata della perdita può essere stimata in alcuni minuti al massimo, per cui in caso di innesco si potranno verificare i fenomeni di jet fire o di flash fire, a seconda del ritardo dell'innesco stesso.

Le aree interessate da irraggiamento pericoloso sono state stimate per entrambi i fenomeni e risultano contenute a distanze dell'ordine di 4-6 m per entrambi i fenomeni.

L'ipotesi di mancato azionamento o mancato funzionamento delle valvole di chiusura rapida risulta a remota probabilità, inferiore alle soglie predefinite per ritenere credibile l'evento ed in ogni caso gli effetti rimarrebbero della stessa entità, quindi si può ipotizzare una situazione controllabile con i normali mezzi di pronto intervento.

4.b Intervento VEF/VNR

Nel caso di rottura totale della manichetta per strappo accidentale si avrà l'intervento pressochè istantaneo della valvola di eccesso di flusso e della valvola di non ritorno che interromperanno il flusso la cui portata risulta pari a poco più di 4 kg/s in regime bifase; ai fini della simulazione, per stimare la quantità di gas rilasciato si è assunto un tempo di intercetto di 1 secondo ottenendo una quantità di ca 7 kg (4,3 kg/s per 1 secondo più il contenuto della manichetta pari a ca 3 kg).

La contenuta quantità di gas che viene rilasciato comporta anche minimi tempi di persistenza della miscela infiammabile, pari a 2 secondi in condizioni D/5 ed a 5-6 secondi in condizioni F/2. Ciò influisce sulla probabilità di presenza di un innesco e sul fenomeno stesso dell'eventuale flash fire, che nel caso di condizioni D/5 appare estremamente improbabile. La probabilità di un innesco concomitante può essere assunta infatti intorno a 0,01 ottenendo una frequenza attesa del fenomeno inferiore alla soglia di 10^{-6} .

L'estensione dell'area interessata in caso di flash fire per condizioni F/2, la cui frequenza attesa può essere stimata inferiore o intorno a $1,14 \cdot 10^{-6}$ occasioni/anno con probabilità di innesco pari a 0,1, è riportata di seguito.

Effetti	Distanza (m)
Letalità elevata (LFL)	9
Lesioni irreversibili (50% LFL)	13

L'eventualità di mancato funzionamento di una valvola di eccesso di flusso o di non ritorno appare remota, in quanto la probabilità di mancato funzionamento è dell'ordine di una volta ogni mille (0,001). Ciò significa che la frequenza attesa di una rottura totale e concomitante mancato funzionamento della valvola di non ritorno o di eccesso di flusso risulta ampiamente inferiore alla soglia di 10^6 occasioni/anno, situandosi nel campo del non credibile.

Si è infine considerata l'ipotesi di un incendio connesso con uno spandimento dalla fessurazione della manichetta o da altri punti dell'impianto, assumendo che possa anche essere presente una miscela ricca in butano (con miscele ricche in propano o con propano puro la formazione di liquido è praticamente da escludere nelle condizioni considerate).

IPOTESI DI INCENDIO DA POZZA

Lo scenario che descrive un pool fire viene esaminato con riferimento ad una pozza quadrata di lato 2 m, quindi con superficie pari a 4 m² (che potrebbe rappresentare, ad es., un eventuale spandimento e successivo incendio nella zona pompe).

Le distanze di danno per irraggiamento medio sono riportate di seguito:

effetti	kW/m ²	estensione (m)
letalità elevata	12,5	6
inizio letalità	7	11
lesioni irreversibili	5	14
lesioni reversibili	3	19
danni a strutture	37	a.s.

Considerando la presenza di pendenze nella pavimentazione, della cassa di contenimento o del tumulo a protezione dei serbatoi, e degli impianti di estinzione, non appaiono verosimili effetti di danno diretti su impianti o strutture circostanti.

CONCLUSIONI

L'analisi dei rischi eseguita ha consentito di individuare gli incidenti ragionevolmente ipotizzabili per la tipologia di impianti in esame, valutandone le conseguenze attese in termini di distanze a cui sono attesi effetti di danno su strutture, impianti o persone.

Le ipotesi di incidente considerate appaiono a bassa o remota probabilità di accadimento, anche considerando che i dati sulla base dei quali sono state stimate tali probabilità sono riferiti a statistiche di oltre 10 anni fa, mentre l'addestramento e la formazione dei lavoratori, le procedure e tecniche di costruzione e realizzazione degli impianti si sono evolute soprattutto per quanto riguarda la sicurezza e l'affidabilità.

Dai risultati delle valutazioni eseguite, comunque, si può concludere che le misure e distanze di sicurezza previste sono atte a minimizzare i rischi connessi con gli impianti in esame, come appare anche dalla tabella di seguito riportata in cui sono comparate le distanze di sicurezza previste e le distanze di pericolo stimate sulla base dell'analisi svolta.

Punti pericolosi ⇔ Distanze da ⇔	Punto di riempimento	Serbatoi, barrel, pompe e compr.	Apparecchi di distribuzione	Area di sosta atb
Fabbricati esterni ad impianti di capacità compl. fino a 30 m ³	30 m (*)	20 m (*)	20 m (*)	15 m
Fabbricati esterni ad impianti di capacità compl. super. a 30 m ³	30 m (*)	30 m (*)	20 m (*)	15 m
Linee ferroviarie pubbliche e linee tranviarie	30 m	20 m [30 m se >30 m ³]	20 m	15 m
Autostrade	30 m	20 m [30 m se >30 m ³]	15 m	15 m
Strade e vie navigabili	15 m	15 m	15 m	10 m
Parcheggi esterni all'aperto	20 m	20 m	20 m	20 m
Linee alta tensione (proiezione in pianta)	15 m	15 m	15 m	15 m
Distanze di protezione	10 m	5 m	10 m	5 m
Distanza max relativa a "letalità elevata" (LFL o 12,5 kW/m ²)	9 m	6 m	4 m	4 m
Distanza max relativa a "lesioni reversibili" (1/2LFL o 3 kW/m ²)	13 m	19 m	7 m	6 m
Scenari	Strappo manichetta (FLASH-FIRE)	Rottura su tubazione (POOL-FIRE)	Perdita da flangia (FLASH-FIRE)	Perdita da manichetta (JET/FLASH-FIRE)
Frequenza attesa	1,14E-6	5,24E-7	8,15E-7	1,14E-5

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis" American Institute of Chemical Engineers - Center for Chemical Process Safety 1989 (ISBN 0-8169-0402-2).
- [2] "Technical Guidance for Hazard Analysis - Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances" - EPA, FEMA, US department of Transportation - USA 1987.
- [3] "Risk Assessment and Risk Management for Accidents connected with Industrial Activities" OECD pubb. n° 19 - 1989.
- [4] "Loss Prevention in the Process Industries" - Vol 2.23/Transport - ed. 1996 - F.P.Lees - (ISBN 0-7506-1547-8).
- [5] progetti ARIPAR - Analisi di Rischio per il Porto e l'Area industriale di Ravenna) ed ARTIS - Analisi dei Rischi per Trieste nell'Industria e nei Servizi.
- [6] Linee Guida per la "PIANIFICAZIONE DI EMERGENZA ESTERNA PER IMPIANTI INDUSTRIALI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE" (Pres. Consiglio Ministri - gennaio 1994).
- [7] Report OECD/GD(97)31 - 1997.
- [8] World Bank (ONU). "Fogli d'Informazione" I.S.P.E.S.L. n. 1/93. Ministero dell'Interno - Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco "Attività a rischio di incidente rilevante - Guida alla lettura, all'analisi e alla valutazione dei rapporti di sicurezza".
- [9] "Guidelines for Process Equipment Reliability Data" AICHE/CCPS 1989.
- [10] **Rapporto Rijnmond** (Risk Analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study) Reidel Ed. 1982.