

# VALUTAZIONE DEI RISCHI CONNESSI AL TRASPORTO FLUVIALE DI SOSTANZE PERICOLOSE LUNGO IL CORSO TERMINALE DEL PO

F. Dattilo, E. Andriotto e C. Cusin – Comando VVF Rovigo  
L. Rosa – Università di Padova – Facoltà Ingegneria  
F. Mazzetto – ARPAV – Rovigo F. Antonello – ARTES Srl

## 0. PREMESSA

Lo sviluppo del sistema idroviario padano-veneto risulta inserito, dalla Unione Europea, tra i grandi progetti di interesse comunitario per lo sviluppo della rete transeuropea dei trasporti. Questo in quanto i vantaggi offerti dalle idrovie riguardano l'economicità dei costi esterni, il campo della sicurezza e quello ambientale. Si riporta a riguardo una tabella prodotta da una elaborazione tedesca [1].

Tabella 1. COSTI ESTERNI DEI MODI DI TRASPORTO

	Strada	Ferrovia	Idrovia
Incidenti	100	6,3	1
Inquinamento acustico	100	173	0
Inquinamento dell'aria	100	12,3	14,4
Inquin. acqua e terreno	100	0	0
effetto barriera	100	0	0
consumo di suolo	100	32,8	0
<b>TOTALE</b>	100	22,5	5,4

Ai suddetti vantaggi vanno aggiunti quelli relativi al risparmio energetico: le idrovie propongono un consumo per tonnellata trasportata che è inferiore a quello ferroviario e circa 1/3 di quello stradale (la fonte è la stessa della tabella precedente).

Tabella 2. CONSUMI ENERGETICI NEL TRASPORTO MERCE

Litri di gasolio per tkm		
STRADA	FERROVIA	IDROVIA
4,1	1,7	1,3

Il confronto con altri Paesi europei rende palese come, in tutta Europa, ci si sia già resi conto dei vantaggi del trasporto idroviario e di come l'Italia, che può contare su un fiume dalle caratteristiche di navigabilità eccezionali, che potrebbe comunicare direttamente con l'Adriatico e il Mediterraneo, mari interni che offrono condizioni favorevoli alla navigazione fluviomarittima, sia ancora arretrata.

Tabella 3. Distribuzione percentuale dei trasporti di merci tra le diverse modalità (anno 1988)

	FERROVIA	STRADA	IDROVIA
<b>Germania</b>	21,61	55,94	19,53
<b>Francia</b>	26,05	55,7	3,56
<b>Olanda</b>	5,04	34,84	53,39
<b>Regno Unito</b>	11,64	79,8	7,09
<b>Belgio</b>	18,91	65,41	13,32
<b>Italia</b>	10,11	84,76	0,07

Nonostante il limitato uso del trasporto fluviale, appare indifferibile affrontare in modo organico le problematiche connesse ai diversi aspetti della sicurezza che tale tipo di trasporto comporta. L'attuale trasporto sul fiume Po avviene per altro in un quadro estremamente frammentato di controlli fra gli innumerevoli Enti che hanno competenza per la navigazione fluviale ed in una situazione per cui nessuno di questi Enti, in concreto, coordina ed attua le operazioni di previsione, prevenzione e gestione delle emergenze.

In questa ottica è in previsione uno studio che si propone di :

- individuare il quadro normativo e gli Enti che hanno competenza in materia;
- descrivere i sistemi idrofluviali esistenti nell'area padano-veneta, con particolare riferimento alle loro caratteristiche essenziali;
- fornire una situazione aggiornata ed affidabile delle tipologie di sostanze pericolose che transitano sulle vie navigabili;

- descrivere le tipologie di natanti utilizzati;
- fornire una stima del rischio connesso con il traffico di sostanze pericolose e, con riferimento ad una sostanza tipo, valutare le probabilità di accadimento di incidenti e le relative conseguenze attese.

La parte di studio illustrata nel presente articolo è ben lungi dall'esaurire tutte le problematiche relative al trasporto fluviale delle merci pericolose; essa si limita ad una prima valutazione del rischio connesso al trasporto di GPL in bettoline e vuole essere un punto di inizio nella valutazione di una strategia della sicurezza per questo tipo di problemi.

Fra i campi d'indagine notevole sviluppo vi sarà nel calcolare gli effetti di rilasci di sostanze pericolose in acqua la cui solubilità può creare inquinamenti più o meno gravi. Lo studio verrà sviluppato adattando modelli di calcolo reperibili in letteratura internazionale.

## **1. QUADRO NORMATIVO ED ENTI COMPETENTI**

### **1.1 OPERE CONNESSE CON LA NAVIGAZIONE**

La gestione e il controllo delle opere connesse con la navigazione sono di competenza di Genio Civile, COVNI ed ARNI.

Il Genio Civile si occupa del canale di Loreo.

Il COVNI cura le attività relative alla gestione delle seguenti vie navigabili:

- asta navigabile Tartaro Canalbianco Po di Levante dal confine con la regione Lombardia alla foce;
- fiume Po da Volta Grimana alla foce;
- canale Po di Brondolo.

L'ARNI in relazione all'Intesa Interregionale per la Navigazione Interna, segue gli aspetti navigatori sull'asta navigabile del Po di Venezia da monte fino alla biconca di Volta Grimana.

Esistono, poi, zone considerate promiscue (sia marittime che fluviali) che sono, pertanto, di competenza della Capitaneria di Porto:

- Adige dalla foce fino a Cavanella d'Adige;
- Canalbianco Po di Levante dalla foce fino a Porto Levante;
- Po di Pila e Po di Tolle dalla foce fino a porto Tolle-Ca' Pisani;
- Po di Gnocca dalla foce a Ca' Vendramin.

### **1.2 GESTIONE OPERE IDRAULICHE**

L'Ufficio Operativo del Magistrato per il Po gestisce l'argine sinistro dell'asta principale del fiume Po ed i vari rami deltizi: dal Po di Maistra all'argine sinistro del Po di Goro.

Il Nucleo Operativo del Magistrato alle Acque ha competenza sull'argine destro del fiume Adige.

Il COVNI gestisce il canale navigabile Po-Brondolo.

L'ufficio regionale del Genio Civile ha competenza sul Canale di Loreo e, dopo la promulgazione della legge 183/89, sul Tartaro Canalbianco Po di Levante fino a Candia, mentre da Candia al confine lombardo è responsabile il Genio Civile di Verona.

Esistono inoltre tratti terminali delle arginature dell'Adige in destra e del Po di Maistra in sinistra che rientrano nella competenza regionale, in un contesto di generale competenza statale, in quanto opere idrauliche non classificate.

Per quanto riguarda la navigazione interna, le funzioni ispettive sono esercitate dall'Ispettorato di Porto che ha giurisdizione sull'intero territorio provinciale.

## **2. INFORMAZIONI SULLA RETE FLUVIALE NAVIGABILE**

Il Po è un fiume che ha caratteristiche naturali di navigabilità straordinarie, che gli derivano dalla pendenza, dall'ampiezza dell'alveo e dalla portata d'acqua. La pendenza è infatti contenuta, non superando 16 cm/km (il Reno, la più importante idrovia del mondo, ha tratte con pendenza di 45 cm/km).

L'alveo è tutto costituito da sabbie, facili da rimuovere rispetto, ad esempio, alla roccia del letto del Reno; un tale fondale riduce sensibilmente i rischi durante la navigabilità, evitando danni o rottura della chiglia delle imbarcazioni in caso di incaglio.

Il flusso d'acqua, sebbene fortemente variabile, consente comunque una portata media di circa 1400 m<sup>3</sup>/s.

Tabella 4. Caratteristiche del fiume Po confrontate con i maggiori fiumi europei.

	Portata in magra (m <sup>3</sup> /s)	Portata media (m <sup>3</sup> /s)	Portata massima (m <sup>3</sup> /s)
Danubio	1.000	6.400	16.000
Reno	500	2.200	10.000
Rodano	600	1.700	11.000
Po	420	1.470	12.000
Senna	30	350	2.400

## 2.1 LA RETE DELLE IDROVIE PADANO-VENETE:

Si descrive brevemente la composizione della rete fluviale navigabile oggetto dello studio:

**Fiume Po da Cremona a mare:** è la parte, attualmente, più navigata del Po; ha una lunghezza di 292 km da Cremona al faro di Pila posto sull'uscita a mare diretta di Porto Tolle. I collegamenti al mare avvengono anche attraverso il Po di Levante, con uscita a Porto Levante, attraverso l'idrovia Po Brondolo con uscita ai Porti di Chioggia e Venezia; tramite la conca di Volta Grimana, e attraverso l'Idrovia Ferrarese, con uscita a Porto Garibaldi, tramite la conca di Pontelagoscuro.

**Da foce Ticino a Cremona:** E' un tratto scarsamente navigato per i problemi determinati dall'impossibilità di utilizzare la conca di navigazione di Isola Serafini (annessa allo sbarramento realizzato per la centrale idroelettrica omonima degli anni '60). Il traffico merci attuale, in questo tratto, è composto essenzialmente da inerti ed è, ovviamente, locale. E' presente inoltre un certo traffico turistico.

**Da Milano a Cremona:** Questo tratto, in via di sviluppo, è stato realizzato, attualmente, solo fino a Pizzighetone, per un totale di ca. 14 km sui 66 previsti.

**Fiume Mincio, da Mantova alla confluenza con il Po:** E' un tratto navigabile, che si estende per 22 km, ma è limitato dalla conca di Governolo. E' importante sottolineare che in questa zona si sono concentrate le industrie che hanno sviluppato, in questi anni, la maggior parte del traffico idroviario: Enichem, Belleli, IES, Petroli, Cartiere Burgo.

**Idrovia Fissero Tartaro Canal Bianco Po di Levante:** La sistemazione dell'idrovia è iniziata nel 1938 per la creazione di un sistema in grado di risolvere i problemi di protezione idraulica della zona, ma anche, attraverso una linea di trasporto idroviario, per porre i presupposti di un organico processo socio-economico delle zone attraversate. Essa è agibile per 13 km su 136 totali, a causa di una strozzatura (di Zelo), un ponte ad Arquà Polesine (che ne limita il tirante d'aria) e la foce del Po di Levante che è solo parzialmente praticabile. Il tronco del Canale da Porto Levante alla conca di Trevenzuolo è in fase di ultimazione lavori. A Porto Levante sono terminati i lavori di costruzione di due moli foranei della lunghezza di 450 e 95 m.

**Idrovia ferrarese:** Essa è stata realizzata tra gli anni '50 e '60, lunga 70 km (il suo percorso dopo Migliarino è artificiale), è omologata per navi sino a 600 t, ma in via sperimentale, è utilizzata anche da navi della IV classe CEMT. E' in progetto anche un collegamento con Ravenna, che prevede l'utilizzazione, in parte dell'idrovia ferrarese.

**Idrovia Po Brondolo:** Ha una lunghezza complessiva di 14.8 km, ed ha caratteristiche, sostanzialmente, di IV classe europea, anche se le dimensioni di alcune sue strutture sono inferiori ai criteri stabiliti per tale standard. Dagli anni '80 in poi è il solo collegamento efficace tra il Po e il mare Adriatico, è perciò il canale più trafficato dell'intera rete. Su questo canale la navigazione incontra le 3 conche più strette dell'intera rete (conca di Cavanella d'Adige destra, conca di Cavanella d'Adige sinistra e conca di Brondolo) e il ponte più basso (ponte di Rosolina).

Le tre conche sono state costruite alla fine della prima guerra mondiale e dimensionate per chiatte o natanti da 600t, di dimensioni massime di 58m di lunghezza, 7,95m di larghezza e immersione massima di 2,10m.

**Litoranea Veneta:** Si estende per circa 127 km dalla laguna veneta sino alla foce del fiume Isonzo, ha caratteristiche molto variabili a seconda dei tratti, ma globalmente è da ritenere compatibile con le caratteristiche della II classe CEMT. La cattiva manutenzione dei fondali, esposti ad un frequente interrimento a causa della natura erbosa delle sponde, e di molti manufatti rischiano di comprometterne la funzionalità. Attualmente il traffico commerciale è praticamente cessato, ma l'idrovia è interamente percorribile da natanti da diporto.

## **2.2 PORTUALITÀ INTERNA FLUVIALE**

**Porto di Cremona:** da tempo ultimato e in funzione, è collegato al Po da una conca (larghezza 12 m, lunghezza 200 m, tirante d'acqua 3,50 m, tirante d'aria 6,50 m) e da una avanconca di 100 m resasi necessaria a causa del fenomeno dell'abbassamento dell'alveo di magra del fiume. Dal porto si stacca il canale navigabile da Cremona a Milano, costruito e funzionante per un primo tratto di 14 km fino a Pizzighettone.

**Porto di Mantova:** di più recente realizzazione, il porto è situato sul primo tratto dell'idrovia Fissero-Tartaro-Canalbiano ed è collegato al Po attraverso la conca di S. Leone (larghezza 12,30 m, lunghezza 225 m, tirante d'acqua di 4 m, tirante d'aria di 6,50 m). Dispone di una darsena con banchina, piazzali di carico, scarico e deposito, palazzina servizi ed è attualmente raccordato alla viabilità ordinaria dalla S.S.482 Mantova-Rovigo, mentre sono in progetto importanti infrastrutture quali il centro di interscambio merci ed il nuovo scalo ferroviario.

**Porto dell'Emilia Centrale:** è stato individuato a Pieve Saliceto di Reggio Emilia dalla Regione Emilia Romagna, che ha approvato lo studio di fattibilità e successivamente (1988) il progetto generale. Sta ora per essere ultimato il progetto esecutivo di un primo stralcio funzionale che comprende la nuova banchina fluviale e le conseguenti sistemazioni arginali nonché il raccordo alla S.S. 62 della Cisa. Attualmente per alcuni traffici viene utilizzata la banchina di Boretto.

**Banchina di Casalmaggiore:** realizzata in fregio al fiume Po, abbisogna di interventi di adeguamento per i quali si stanno approntando i relativi progetti e valutando le possibilità di un raccordo ferroviario. Le spese relative, tuttora da quantificare, potrebbero trovare copertura con i fondi ex art. 6 della legge n. 380/90.

**Porto di Rovigo:** i lavori del porto interno, ubicato sul tratto terminale dell'idrovia Fissero-Tartaro-Canalbiano, sono iniziati nel 1989. La prima fase è terminata con la costruzione della banchina e della relativa area di manovra dei natanti, e del piazzale di stoccaggio delle merci sul quale sono state pure realizzate strutture operative quali una palazzina uffici e un magazzino. Contiguo al porto, finora inattivo, è stato progettato un interporto previsto nel Piano particolareggiato del Comune di Rovigo e la cui realizzazione futura sarà curata dalla "Interporto di Rovigo SpA" costituita fra gli Enti locali, istituti bancari, Consorzio ZAI e Magazzini Generali di Verona.



Figura 1. Porto di Rovigo

**Banchina fluviale di Piacenza:** è stata oggetto, anni addietro, di uno studio di larga massa che poi non ha avuto seguito per la sopravvenuta inagibilità della conca di Isola Serafini sul Po a monte di Cremona, a causa dell'abbassamento dell'alveo del fiume. Il rinnovato interesse per tale opera è legato comunque al rifacimento della suddetta conca, costruita a suo tempo in occasione dello sbarramento del fiume e della costruzione della centrale idroelettrica. Per tale rifacimento, che consentirebbe la navigabilità del Po fino a Piacenza e oltre fino a Pavia, la Regione Emilia Romagna sta sollecitando un intervento dell'ENEL, proprietario della struttura, dallo stesso realizzata in conformità di un disciplinare che prevede, attraverso la conca e la sua agibilità, la navigabilità del fiume a monte di Cremona.

Attracchi e banchine sull'idrovía ferrarese: attualmente sono funzionanti le banchine attrezzate di Pontelagoscuro e Ferrara le cui attività negli ultimi anni sono state fortemente condizionate, per il collegamento con il Po a Pontelagoscuro, dal crescente stato di inagibilità della conca ivi esistente a causa dell'abbassamento dell'alveo del fiume. Uguale considerazione va fatta per lo sbocco a mare a Porto Garibaldi, data l'esistenza nel centro di Ferrara del ponte ferroviario a soli 50 m dalla stazione ferroviaria che non consente, dato l'insufficiente tirante d'aria, il transito dei natanti commerciali né la possibilità del suo rialzo

## 2.3 I PONTI

Sono presenti sul Po un certo numero di ponti, stradali, autostradali e ferroviari, che sono manufatti dei quali è necessario tenere presente nell'analisi delle probabilità di urto in caso di navigazione.

Si riporta di seguito l'elenco completo dei ponti presenti da Cremona allo sbocco sull'Adriatico, indicando anche il tirante d'aria minimo. Attualmente la limitazione maggiore è determinata dal Ponte Ferroviario di Pontelagoscuro (FE) che alle massime acque navigabili Q. 10 (portata superata per non più di 10 gg. nell'anno medio), ha un tirante d'aria di 4.72 m. Per 300 gg. il tirante d'aria è di 7.30 m.

Tabella 5. Ponti e tiranti d'aria sul Po (tratto Cremona - Porto Tolle)

PONTI SUL PO	m*	PONTI SUL PO	m*
CREMONA Ponte Stradale-Ferroviario Rif idrometro di Cremona	6.80	CREMONA Ponte Autostrada Rif idrometro di Cremona	8.77
ISOLA PESCAROLI Ponte Stradale Rif. idrometro di Casalmaggiore	9.92	CASALMAGGIORE Ponte Ferroviario Rif. idrometro di Casalmaggiore	8.00
CASALMAGGIORE Ponte Strad. -Rif idrometro di Casalmaggiore	9.42	VIADANA Ponte Strad. Rif. idrometro di Boretto	10.45
GUASTALLA Ponte Strad. Rif idrometro di Pomponesco	10.50	BORGOFORTE Ponte Ferrov. Rif. idrometro di Borgoforte	10.00
BORGOFORTE Ponte Strad. -Rif idrometro di Borgoforte	11.55	PORTIOLO Ponte Autostrad. Rif. idrometro di Borgoforte	13.75
S. BENEDETTO PO Ponte Strad. Rif idrometro di Foce Mincio	13.00	REVERE Ponte Strad. - Ferrov. Rif. idrometro di Revere	11.30
CASTELMASSA Ponte Strad. _Rif. idrometro di Felonica	12.25	FICAROLO Ponte Strad. Rif. idrometro di Felonica	12.16
OCCHIOBELLO Ponte Autostrad. Rif idrometro di Pontelagoscuro	9.00	PONTELAGOSCURO Ponte Strad. Rif idrometro di Pontelagoscuro	6.00
PONTELAGOSCURO Ponte Ferrov. Rif idrometro di Pontelagoscuro	4.50	POSELLA Ponte Strad. Rif idrometro di Pontelagoscuro	11.50
MAZZORNO Ponte stradale Rif idrometro di Bottrighe	10.42	CA' TIEPOLO - CA' VENIER Ponte Stradale (a valle di Volta Grimana) Rif. medio mare	8.50
PONTE FORNACI Ponte stradale Rif. medio mare	8.00	PONTE DI CAO MARINA Ponte stradale Rif. medio mare	7.47

\* dallo zero idrometrico

### 3. VALUTAZIONE DELL'ODIERNO TRAFFICO

L'attuale traffico attraverso il Po è abbastanza limitato, rispetto alle potenzialità economiche-ambientali, che tale sistema viario può offrire.

Attraverso il Po e i suoi canali collegati vengono movimentate annualmente oltre un milione di tonnellate di merci la cui tipologia è visibile nella tabella allegata che riassume la previsione dell'anno in corso.

La maggior parte del traffico si svolge dagli sbocchi all'Adriatico ai porti di Cremona e Mantova; esiste poi un traffico prevalentemente locale nelle zone portuali e uno ancora ridottissimo, di cui non si è tenuto conto, nel tratto di Po a ovest di Cremona.

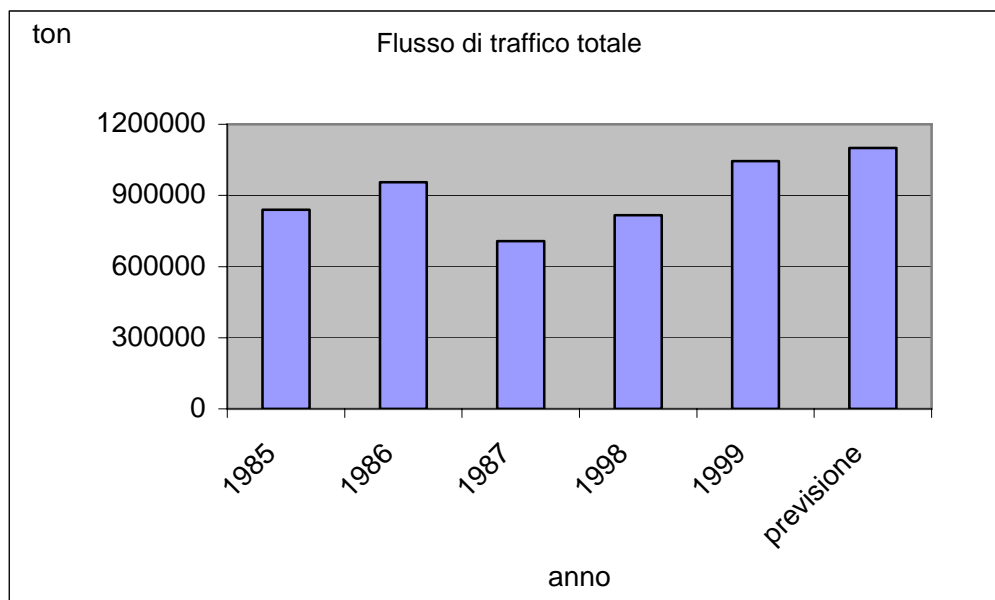


Figura 2. Andamento del traffico merci totale

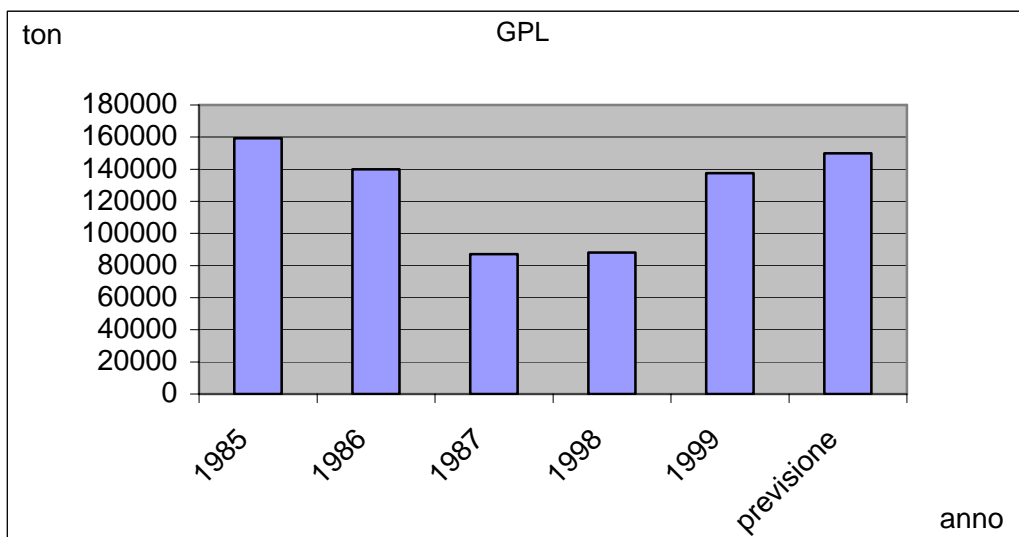


Figura 3. Andamento traffico GPL

Per il caso esaminato di seguito si è fatto riferimento al trasporto di GPL, di cui si forniscono i dati relativi al trasporto mensile nell'ultimo anno, fino al mese di Gennaio 2000.

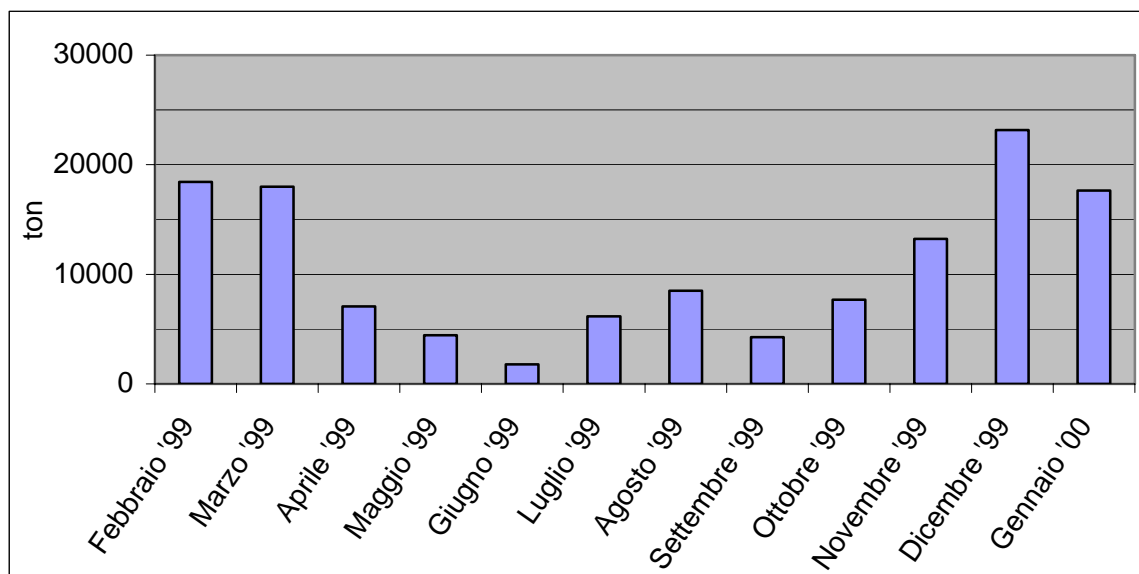


Figura 4. Traffico mensile GPL (transito per la biconca di Voltagrmana)

#### 4. I MEZZI DI TRASPORTO FLUVIALI PER GPL

Il traffico attuale si svolge prevalentemente tramite “convogli” formati da uno spintore e da una o più chiatte (fino a 2 nel caso del Po), mezzi che sono descritti brevemente di seguito.

**Spintore:** è l’unità di propulsione della chiatta. E’ dotato di cabina mobile, per permetterne l’abbassamento nel momento di passaggio sotto i ponti. Per quel che riguarda le sue dimensioni prendiamo in considerazione quelli in dotazione alla ditta “ABIBES S.p.A.” che hanno le seguenti caratteristiche:

lunghezza 26,50 m  
 larghezza 11 m  
 pescaggio 1,40 m  
 potenza di 1500 kW.

**Bettolina o Chiatta:** è una unità non autopropulsa, costruita allo scopo di contenere il massimo carico possibile mantenendo le dimensioni esterne adatte al trasporto via Po. Ciò significa una larghezza ridotta ed un pescaggio adatto ai bassi fondali. Tali natanti sono dotati di accorgimenti che ne permettono un agevole transito sotto i ponti, ossia tutti gli organi che sporgono superiormente, come gli sfiati, sono abbattibili. Le caratteristiche di una chiatta per il trasporto di GPL sono (rif. ditta “ABIBES S.p.A.”):

lunghezza 77,8 m,  
 larghezza 11,5 m  
 pescaggio 1,85 m ca.

Essa è fornita inoltre di n° 6 serbatoi cilindrici con fondo sferico, di diametro massimo 4,6 m e lunghezza circa 22 m, per un volume di 340 m<sup>3</sup> ciascuno, disposti ad asse orizzontale affiancati a 2 a 2 su 3 file, parallele all’asse longitudinale dell’imbarcazione. Tali serbatoi sono dotati di:

- due valvole di sicurezza con dispositivo per escluderne una assicurando la portata di efflusso prevista per norma;
- scarico delle valvole di sicurezza in collettore (altezza superiore a 5 m dal ponte di coperta);
- indicatore di livello del liquido contenuto nel serbatoio;
- segnalatore di allarme per alto livello (95%);
- segnalatore di allarme per altissimo livello (98%);
- segnalatore di allarme per massimo livello;
- indicatori di temperatura;
- segnalatore di allarme per alta pressione;
- attacchi per l’immissione prodotto nel serbatoio provvisti di valvola di intercettazione manuale e di valvola comandata a distanza con attuatore pneumatico a sicurezza.

In realtà esiste una singola chiatta ancora più grande, la “Eco Ravenna”, della EniChem di Mantova, lunga 78 metri, stazza 650 tonnellate, che trasporta dalle 1000 alle 1500 tonnellate di stirene (stirolo), per un totale di ca 100.000 tonnellate/anno.



Figura 5. La megabettolina “Ecoravenna” il giorno dell’inaugurazione, 25 settembre 1998

## 5. VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI INCIDENTE

Si è proceduto anzitutto a censire le notizie di casi verificatisi fornite dalle banche dati, quindi si sono individuati quelli pertinenti allo studio. Le tipologie di incidente sono quelle tratte dalla suddivisione secondo le categorie del Lloyd’s, ulteriormente dettagliate, ossia la categoria “collisione”, che tiene conto di diversi tipi di urto tra imbarcazioni, viene suddivisa in urti e collisioni secondo le seguenti definizioni.

- Collisione: qualsiasi contatto tra due navigli in movimento.
- Urto: contatto tra un naviglio in movimento ed uno ormeggiato (non viene compreso nella trattazione, essendo, lo scopo di questo lavoro, riferito alla navigazione e non alla fase di entrata nei porti.
- Impatto: urto di un natante contro altre strutture fisse, sia in fase di transito che in fase di ormeggio.
- Incaglio: arenamento o urto di un natante contro il fondale (nel nostro caso, essendo il fondale del Po sabbioso e/o fangoso, ed essendo la velocità media molto bassa, non viene ritenuto credibile l’incidente con falla tale da determinare rilasci di prodotto).
- Incendio o esplosione a bordo.

Per il caso specifico oggetto di questa presentazione, le collisioni sono state indagate in base al traffico di natanti sul Po, mentre l’impatto è basato sul numero di ponti presenti sul fiume, considerando i relativi piloni di sostegno.

Altri incidenti plausibili considerati sono le possibili rotture interessanti le tubazioni e valvole situate sul ponte di coperta delle bettoline.

### 5.1 INCIDENTI DI NAVIGAZIONE

Per la stima della frequenza attesa di un incidente si è adottato un approccio basato sul confronto tra una metodologia semplificata ed una tecnica probabilistica. Va rilevato che, mancando informazioni sufficientemente complete degli incidenti accaduti nell’area di studio, non appare fattibile una seria analisi storica e che l’utilizzo di metodologie analitiche tradizionalmente usate nell’analisi del rischio per il settore incidenti rilevanti non è applicabile per quanto concerne i casi di collisione, urto, incaglio o impatto.

Le metodologie adottate sono consistite nell’uso di un modello di calcolo [8] [9] noto ed applicato per casi analoghi, validato in base ai dati di sette dei maggiori porti e nove regioni di canali degli USA, e



sull'applicazione di un metodo semplificato proposto da alcune organizzazioni internazionali (UNEP, WHO, IAEA e UNIDO) per una stima preliminare del rischio [10].

Per l'applicazione del modello di calcolo (software "PROCOL" probabilità collisione) si è suddivisa l'estensione del Po in 6 tratti, in funzione del volume di traffico:

Tabella 6. Stima del numero di collisioni/anno (senza penetrazione) attese con modello di calcolo

zona	sul totale traffico	su bettolina gpl	su bettolina gpl carica
Porto Levante - Biconca di Volta Grimana	2,23E-06	2,23E-06	2,23E-06
Venezia – Volta Grimana	1,30E-05		
Volta Grimana – Sermide	3,56E-05	1,80E-05	1,10E-05
Sermide – Conca di Governolo (Mantova)	8,68E-05	2,58E-05	1,39E-05
Conca di Governolo – Boretto	8,84E-06	6,63E-06	4,43E-06
Boretto – Cremona	4,09E-05	1,69E-05	9,55E-06

Dai risultati del modello non risulta ipotizzabile una collisione con penetrazione (rottura), tuttavia dall'applicazione del metodo semplificato, che fornisce la frequenza di incidente con rilascio, si ottengono i seguenti dati.

Tabella 7. frequenze di incidente con rilascio stimate con Metodo IAEA

zona	frequenza [incidenti/anno]
Porto Levante – Biconca di Volta Grimana	3,00E-08
Venezia – Volta Grimana	1,00E-07
Volta Grimana – Sermide	1,00E-07
Sermide – Conca di Governolo (Mantova)	3,00E-07
Conca di Governolo – Boretto	1,00E-07
Boretto – Cremona	1,00E-07

## 5.2 INCIDENTI SULL'IMPIANTISTICA

Sulla base dell'esperienza storica sono individuabili due casi di incidente rappresentativi delle svariate circostanze ipotizzabili: il primo è la rottura o foratura da connessioni o da tubazione in fase liquida, il secondo la rottura o apertura spuria o perdita da valvola di sicurezza.

La prima evenienza può essere causata da molteplici eventi; può essere una conseguenza di un impatto con il pilastro di un ponte a seguito di caduta di parti della struttura o può derivare da difetti o stress del materiale, corrosione non rilevata, errori in fase di progettazione o costruzione o nel corso dell'esercizio, ecc. Tralasciando il caso di impatto contro il ponte con caduta di gravi che risulta a probabilità remota, la frequenza attesa di una rottura o foratura è ricavabile da letteratura [3] come sintetizzato nel seguente grafico.

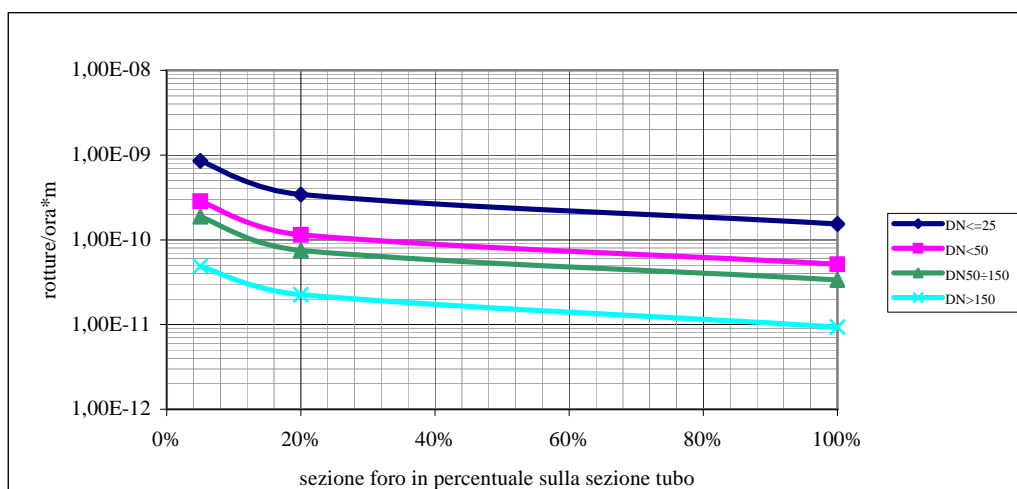


Figura 6. Frequenza attesa di rottura tubazioni (Lees 1996)

Per la perdita da valvola di sicurezza la frequenza attesa viene ricavata da banche dati.

### 5.3 INDIVIDUAZIONE DEGLI EVENTI CREDIBILI

In via teorica appaiono ipotizzabili svariati eventi incidentali, tuttavia in base all'esperienza storica ed alle valutazioni esposte sono stati scelti 3 casi che possono dare un quadro sintetico della casistica di incidenti:

- un'ipotesi di collisione con penetrazione, che pur risultando a remota frequenza attesa ( $3 \cdot 10^{-7}$  occ/anno secondo il metodo semplificato IAEA, non ipotizzabile secondo il modello di calcolo), viene considerata per indagare sulla magnitudo connessa agli scenari che ne derivano;
- un caso di rottura su connessione con la fase liquida che viene associato ad una frequenza attesa dell'ordine di  $1,64 \cdot 10^{-6}$  occ/anno per foro di diametro equivalente pari al 20% del diametro della linea e riferita solo a brevi tratti di linea in uscita dalle cisterne.
- un'ipotesi di perdita di gas per apertura spuria o rottura della valvola di sicurezza, cui si associa una frequenza attesa di  $4,38 \cdot 10^{-4}$  occ/anno riferita a foro DN80.

In tutti i casi il "top-event" che ne risulta consiste in un "rilascio di GPL", in fase liquida o in fase gas, che potenzialmente può evolvere secondo i seguenti scenari:

- dispersione di vapori non seguita da incendio (DISPERSIONE)
- incendio di vapori con effetto non esplosivo (FLASH-FIRE)
- incendio della pozza di liquido (POOL-FIRE)
- incendio di un getto gassoso effluente dal serbatoio (JET-FIRE)
- esplosione di vapori in ambiente non confinato (UVCE)
- esplosione di vapori in ambiente confinato (VCE)
- incendio di vapori in espansione a seguito di cedimento del serbatoio (FIREBALL)

Tali scenari originano tre tipi di effetto di danno:

- 1- radiazione termica (stazionaria e variabile)
- 2- onda di pressione
- 3- proiezione di frammenti

Il verificarsi di uno scenario piuttosto che un altro dipende da una serie di variabili casuali, quali il tempo che intercorre tra l'inizio della perdita e l'innescò, l'energia di innescò, la presenza di ostacoli o confinamenti alla libera espansione dei gas generati dalla combustione, ecc.

Le fonti di innescò plausibili nel caso in esame appaiono essere:

- fiamme libere, calore diretto o superfici calde,
- scintille meccaniche,
- elettricità statica,
- apparecchiatura elettrica

La probabilità di un innescò viene stimata in funzione dell'ampiezza della zona interessata dalla miscela infiammabile.

## 6. STIMA DELLE CONSEGUENZE ATTESE DI UN INCIDENTE

Per quanto riguarda le condizioni atmosferiche si è scelto di far riferimento ad una velocità del vento di 1 m/s, che è anche il limite per un'applicazione corretta dei modelli, considerando che le rilevazioni dell'ARPAV forniscono dati di velocità media variabili, durante l'anno, da 0,5 m/s a 1,5 m/s.

La categoria di stabilità atmosferica prescelta è la F di Pasquill (stabile).

Gli effetti dei fenomeni connessi agli scenari ipotizzati sono stati valutati con il software S.T.A.R. (Safety Techniques for Assessment of Risk).

### 6.1 RILASCIO A SEGUITO DI COLLISIONE

La gravità del danno prodotto dalla collisione tra due natanti dipende dalla massa e dalla velocità. Sulla scorta delle risultanze dei calcoli condotti con il software PROCOL, la collisione o impatto con penetrazione, cioè con rottura di un tank della bettolina appare non credibile o, quantomeno, estremamente improbabile, essendo comunque presente un doppio scafo, ed avendo, la bettolina fluviale, una ridotta energia cinetica. L'indicazione ottenuta con il metodo semplificato fa tuttavia ritenere opportuna una valutazione delle conseguenze attese, pertanto si è assunto che possa generarsi una lacerazione equivalente ad un foro di diametro 0,1 m sulla parete di una cisterna, in una posizione sopra il livello dell'acqua (1,3 m sul livello corrispondono ad una quota di 3,5 m dal fondo della cisterna, che viene assunta avere un livello di ca 4,3 m).

Nelle condizioni iniziali ipotizzate del prodotto (5°C con pressione 5,4 bar) la portata di efflusso risulta iniziale intorno a 100 kg/s e scende a 88 kg/s in ca. 4 minuti, quando il livello del liquido raggiunge la quota del foro: da questo momento in poi fuoriesce gas con portata massima dell'ordine di 7 kg/s che diminuirà gradatamente per il raffreddamento e conseguente decremento della pressione connessi al rilascio. La simulazione è stata pertanto condotta riferendosi alla fase iniziale, che vede fuoriuscire in circa 4 minuti un quantitativo di GPL dell'ordine di 24 t, di cui il 20% vaporizza istantaneamente per flash ed il restante si spande sulla superficie dell'acqua evaporando rapidamente per scambio termico, secondo lo schema riportato nella figura seguente.

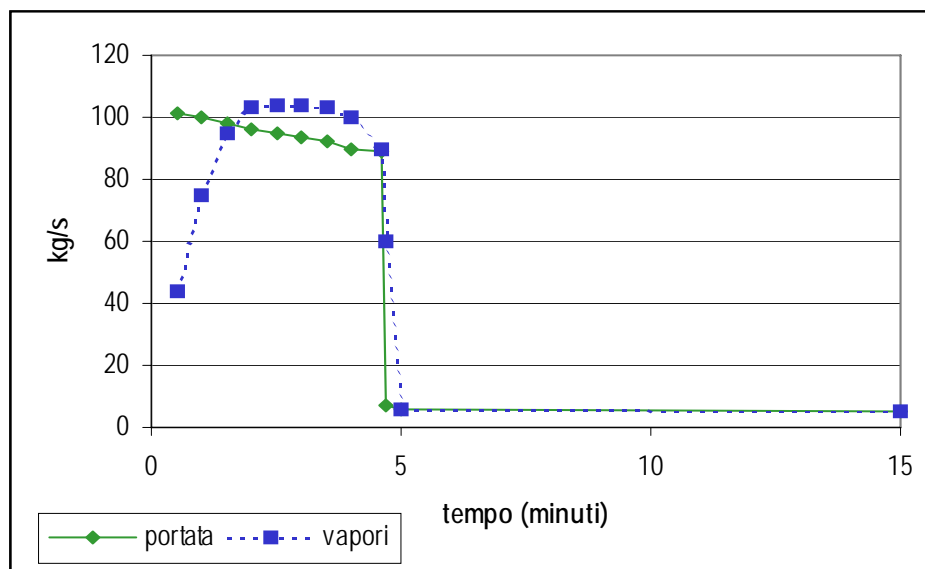


Figura 7. Andamento portata di efflusso ed evaporazione per ipotesi di collisione.

La dispersione del gas è stata simulata ipotizzando un rilascio di ca 23 t ed utilizzando un modello per rilasci istantanei (Denz). Da questi risultati appare credibile sia l'eventualità di un flash fire che quella di una UVCE, dato che la permanenza della miscela infiammabile è notevole (oltre un quarto d'ora); assumendo una probabilità pressoché uguale di innesco, considerando che la collisione o impatto è più probabile in prossimità di ponti o manufatti che sono connessi alla presenza di attività, quindi di possibili inneschi, si sono simulate le conseguenze per entrambi questi scenari ottenendo i seguenti risultati, riferiti al punto di rilascio.

Tabella 8. Rilascio per collisione/impatto

concentrazione UFL	a 120 m
concentrazione LFL	a 290 m
concentrazione 50% LFL	a 390 m
massima quantità in campo di infiammabilità	14234 kg
tempo di permanenza miscela infiammabile	990"
<b>CONSEGUENZE PER IPOTESI DI FLASH FIRE</b>	
Elevata probabilità di letalità ( $\geq 50\%$ )	fino a 490 m
Inizio letalità ( $\geq 1\%$ )	fino a 520 m
Lesioni reversibili (ustioni 1°)	fino a 590 m

Riguardo alle conseguenze attese in caso di UVCE è doveroso precisare che la simulazione fornisce sovrappressioni massime dell'ordine di 0,14 bar ai margini della nube (assumendo velocità di fiamma di 50-60 m/s in considerazione dell'ambiente aperto); è tuttavia non escludibile che all'interno della nube vi siano picchi di sovrappressione determinati da accelerazioni locali della fiamma generate da turbolenze o indotte da ostacoli. La simulazione, per altro, assume una forma semisferica della nube, per cui la distanza dall'origine computata dal modello UVCE è differente da quella fornita dal modello di dispersione (43 m invece di 290) la quale tiene conto della densità del gas e della stratificazione verso il basso. A titolo illustrativo si riportano i grafici forniti dai due modelli.

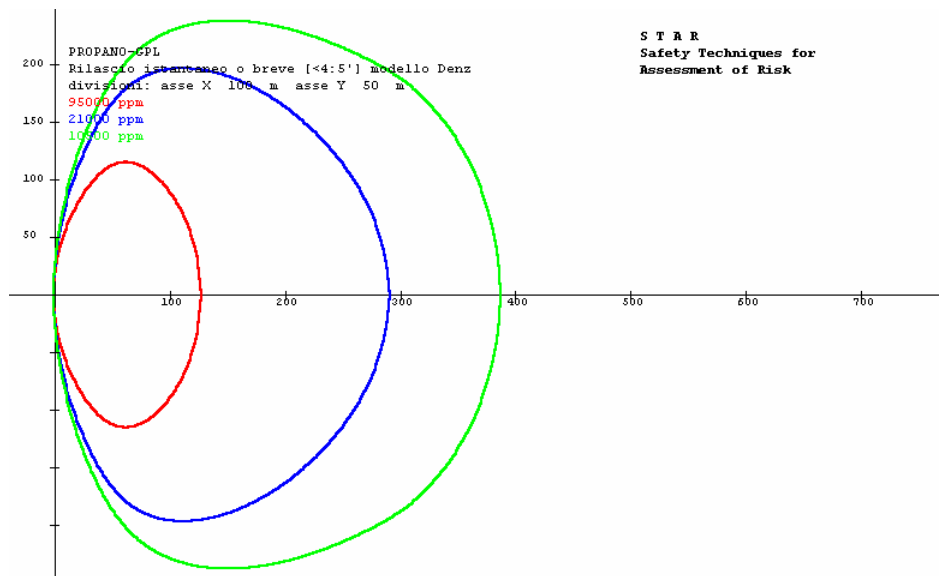


Figura 8. Scenario dispersione a seguito di collisione con rilascio

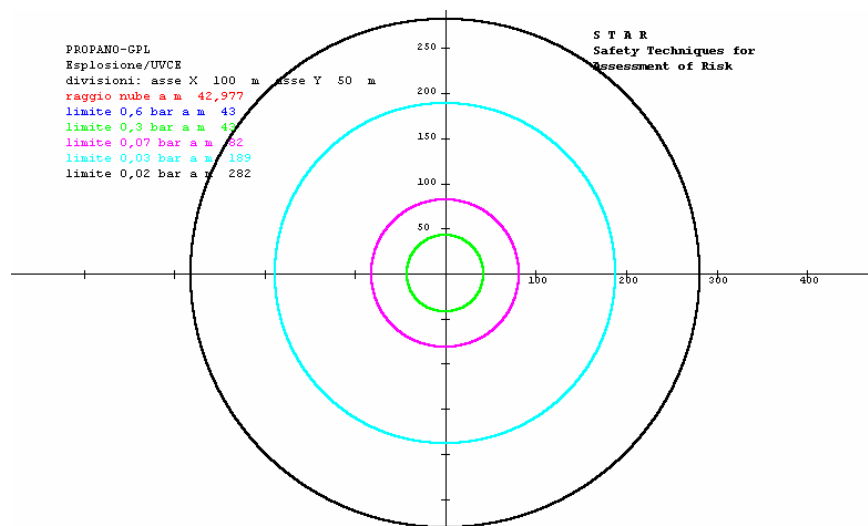


Figura 9. Scenario UVCE a seguito di collisione con rilascio.

Altri scenari non appaiono proponibili o risultano di magnitudo inferiore a questi, pur mantenendo la stessa frequenza attesa che per le conseguenze sovraesposte sono riferibili a ordini di grandezza di  $10^{-8}$  o  $10^{-9}$  occ/anno. Infatti, il pool fire appare marginale dato il breve lasso di tempo in cui è presente liquido sulla superficie acquee (ca 5 minuti), mentre il jet fire connesso ad un innesco immediato del gas fornirebbe aree di danno nettamente inferiori; risulta escludibile l'esplosione confinata ed appare marginale l'eventualità di BLEVE, dato che anche il jet impingement non sembra plausibile (si richiederebbe un jet orientato verso la cisterna adiacente mentre si parla di una lacerazione provocata da collisione, quindi situata sul lato esterno).

## 6.2 RILASCIO A SEGUITO DI ROTTURA SU TUBO O CONNESSIONE IN FASE LIQUIDA

Questa eventualità è stata simulata assumendo un'apertura con diametro equivalente pari a 20 mm (20% di una tubazione DN100) cui corrisponde un rateo di accadimento  $1,87E-10$  occ/(m·h) ed una frequenza attesa (sulla base di 8760 ore/anno) di  $1,64E-6$  occ/anno. La portata di efflusso risulta ca 1,7 kg/s in regime bifase, per cui si è considerata la dispersione originata dalla stessa portata di aerosol e vapori, ottenendo dalla simulazione i dati di seguito riportati.

concentrazione UFL	a 9 m
concentrazione LFL	a 40 m
concentrazione 50% LFL	a 55 m
massima quantità in campo di infiammabilità	83 kg
<b>CONSEGUENZE PER IPOTESI DI FLASH FIRE</b>	
Elevata probabilità di letalità ( $\geq 50\%$ )	fino a 55 m
Inizio letalità ( $\geq 1\%$ )	fino a 58 m
Lesioni reversibili (ustioni 1°)	fino a 60 m

La durata del rilascio è presumibilmente quella necessaria per lo svuotamento della cisterna, dato che ipotizzando il foro nel tratto di tubazione (o zona interessata da saldatura o ZTA) in uscita dalla cisterna, appare problematica una intercettazione e si dovrà ricorrere, se possibile, al dislocamento del contenuto. Ciò fa ritenere plausibile anche il jet fire i cui effetti, più che interessare o comportare aree di danno rispetto a persone o strutture situate lungo il canale, potranno costituire un rischio nei confronti delle altre cisterne, potendo configurarsi il fenomeno del jet impingement. In funzione dell'orientamento del jet potranno infatti essere interessate dalla fiamma le strutture o parti adiacenti con pericolo di surriscaldamento e di cedimento e conseguente ulteriore fuoriuscita di GPL. La probabilità che l'orientamento del jet sia tale da comportare questo rischio può essere stimata considerando casuale la direzione del jet ed assumendo che solo per un angolo di  $90^\circ$  ( $\frac{1}{4}$  di angolo giro) possa essere interessata una cisterna adiacente: ne consegue una frequenza attesa di  $4,1E-7$  occ/anno.

I fenomeni ipotizzabili in caso di effetto domino vanno da un "transient jet fire" ad un fire ball di ridotte dimensioni, in quanto il liquido contenuto nella cisterna danneggiata non è comunque in condizioni di surriscaldamento e quindi si può escludere il BLEVE.

### 6.3 RILASCIO A SEGUITO DI ROTTURA VALVOLA SICUREZZA

Per la perdita da valvola PSV (ipotizzata come rottura della molla o apertura spuria su una linea DN80), la portata iniziale in fase gas risulta  $4,6$  kg/s con formazione di un jet ad alta velocità e LFL situato alla quota di ca 17 m dal ponte della bettolina. A seconda che si abbia innesco immediato o ritardato può verificarsi un jet fire o un flash fire; per questo secondo evento si rileva che la quantità di gas in campo di infiammabilità è abbastanza limitata (meno di 2 kg), quindi con bassa probabilità di danno anche per il personale a bordo.

La formazione di un jet fire invece può essere di due tipi, orizzontale e verticale, visto che la valvola sfoga in un collettore generalmente in posizione verticale, ma che è abbattibile durante il passaggio sotto ponti. Il jet verticale ha una pericolosità molto limitata, infatti gli effetti di irraggiamento sono molto limitati, considerando l'altezza e la direzione del jet. Il jet orizzontale, viste le notevoli analogie, può essere accomunato al rilascio descritto nel caso precedente.

## 7. CONCLUSIONI

Pur se il sistema di trasporto fluviale è sicuramente meno rischioso rispetto ai più tradizionali sistemi su strada e ferrovia, non appare giustificato il fatto di poter trascurare l'eventualità che un incidente che coinvolga sostanze chimiche pericolose abbia a verificarsi.

Solo con riferimento al GPL si è dimostrato come siano plausibili o quantomeno non escludibili eventi con magnitudo notevole, che può interessare vaste aree marginali alle vie di navigazione. L'approfondimento dello studio con indagine anche su sostanze di diverse caratteristiche appare pertanto auspicabile, nell'ottica di una adeguata ed oculata politica di prevenzione e di contenimento dei rischi.

Fra le priorità che emergono dalla presente relazione si evidenziano le seguenti:

- individuazione dell'Ente che si occupi della sicurezza della navigazione
- individuazione di attrezzature e mezzi idonei al soccorso su fiume e delle relative procedure operative
- individuazione di sistemi di contenimento di eventuali spandimenti in acqua di sostanze pericolose.

Oltre ai sistemi presenti a bordo del convoglio oggi non esistono sulle idrovie presidi di sicurezza né fissi né mobili. Da una prima riflessione scaturiscono alcune proposte di cui pare opportuno valutare la fattibilità e l'efficacia, quali:

- ◆ approntamento di un natante attrezzato adeguatamente, che possa anche trainare il convoglio, fornito di un monitore (che potrebbe anche essere montato sullo spintore), posizionato normalmente in un punto

strategico del fiume, in modo da consentire il rapido raggiungimento della zona interessata dall'emergenza;

- ◆ costruzione di scivoli per l'immissione in fiume di natanti di soccorso, dislocati in più punti dell'idrovia. Questa soluzione necessita l'adozione di imbarcazioni di dimensioni più contenute rispetto alla precedente, e quindi anche più limitate per quanto riguarda i sistemi di intervento antincendio a bordo;
- ◆ costruzione di punti di ricovero delle bettoline incidentate per permettere l'intervento da terra. Potrebbero essere presenti semplici approdi con briccole per l'attracco<sup>(\*)</sup> e monitori acqua/schiuma.

*(\*) Le briccole devono essere poste in posizioni idonee, in punti del fiume di larghezza adeguata, dove il fondale sia tale da garantire un tirante d'acqua opportuno, lontano da centri abitati e in posizione facilmente raggiungibile da strade. L'installazione di monitori antincendio deve essere fatta considerando che per poter erogare schiuma (o acqua) sul ponte del natante devono essere installati in posizione alta. Ad esempio variando l'altezza dei natanti da 3 a 4,5 m circa sul livello dell'acqua, è ipotizzabile un'altezza del cannone di una decina di metri. Il dimensionamento può essere fatto considerando un'area di fuoco o di intervento di circa 1000 m<sup>2</sup>: con ratei di 5 L/(minuto m<sup>2</sup>) di estinguente sono ipotizzabili due monitori (posti a sufficiente distanza da consentire di coprire la lunghezza della bettolina) con portata da 2500 L/minuto.*

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Krause *Binnenschiffahrt und Wasserstrassen in Aufschwung Binnenschiffart*, ZfB 1992
- [2] AA.VV., *Navigazione interna commerciale: il sistema padano-veneto*, UNII
- [3] ARNI, *Studio di fattibilità del sistema idroviario padano-veneto*, 1999
- [4] Intesa interregionale per la navigazione interna, UNII, *Atti del convegno Il trasporto per acqua sugli assi padano e adriatico: navigazione interna e cabotaggi*, Ravenna, 1993.
- [5] *Navigazione interna - rassegna trimestrale di studi e informazioni*, n. 1 (Gen-Mar 99) e n. 3/4 Lug-Dic 99). Comunità Padana delle Camere di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura, Cremona, 1999
- [6] UNII, *Atti del convegno Navigazione interna e cabotaggio: necessità, non solo convenienza*, Venezia, 1991
- [7] UNII, *Dati e considerazioni sulla navigazione interna e sul sistema idroviario padano.veneto*, Venezia, 1995
- [8] Minorsky, V.U. "Analysis of ship collision" *Journal of ship research* Vol. 3 n.2 1959
- [9] US Coast Guard – DOT USA "Studi sulla probabilità di collisione in 43 porti marittimi e fluviali degli USA"
- [10] UNEP- WHO-IAEA-UNIDO "Manual for the classification and prioritization of risk from major accidents in process and related industries" 1991
- [11] Lees F. P., *Loss Prevention in the Process industries*, Butterworths, Londra 1996
- [12] CCPS, AIChE, *Guidelines for evaluating the characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fires and Bleves*, CCPS, AIChE, New York, 1994.