

ANALISI DEI RISCHI DI INCIDENTE NEL TRASPORTO FLUVIALE DI SOSTANZE PERICOLOSE – UN ESEMPIO APPLICATO AL PO

F. Dattilo - Comando VVF Vicenza

L. Rosa, S. Ghirardo – Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Padova

F. Antonello, S. Pozza - ARTES Via C. Battisti 2/A 30035 Mirano (VE)

SOMMARIO

Il seguente studio esamina il caso di un possibile incidente di una chiatta per il trasporto di prodotti chimici lungo il fiume Po, ipotizzando uno sversamento di stirene ed analizzando l'evoluzione degli scenari che ne possono derivare e i possibili interventi di mitigazione sulla base dell'esperienza storica e con applicazione delle tecniche di analisi del rischio. La simulazione dell'evoluzione della "macchia inquinante" all'interno del corpo acquatico è avvenuta utilizzando un modello monodimensionale di dispersione longitudinale in grado di fornire come risultati una stima dei tempi di passaggio dell'inquinante e dei valori di concentrazione a valle del punto di sversamento. L'applicazione ha richiesto alcune assunzioni semplificative, sia nella descrizione delle modalità di fuoriuscita del carico inquinante, sia nella definizione del campo di indagine, che è stato limitato ad un tratto di fiume lungo circa 36 km, compreso tra le località di Pontelagoscuro (FE) e Papozze (RO).

IL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE SUL FIUME PO

A partire dal 1992, con l'entrata in funzione del Porto di Cremona, si è assistito ad una inversione della tendenza del traffico commerciale sull'idrovia padano-veneta che dagli inizi degli anni '80 era andato progressivamente scemando.

Attualmente la navigazione commerciale si svolge principalmente sul fiume Po, da Cremona fino alla conca di Volta Grimana, dove il traffico viene smistato verso la Laguna Veneta o verso Porto Levante per l'accesso al mare (fig. 1).

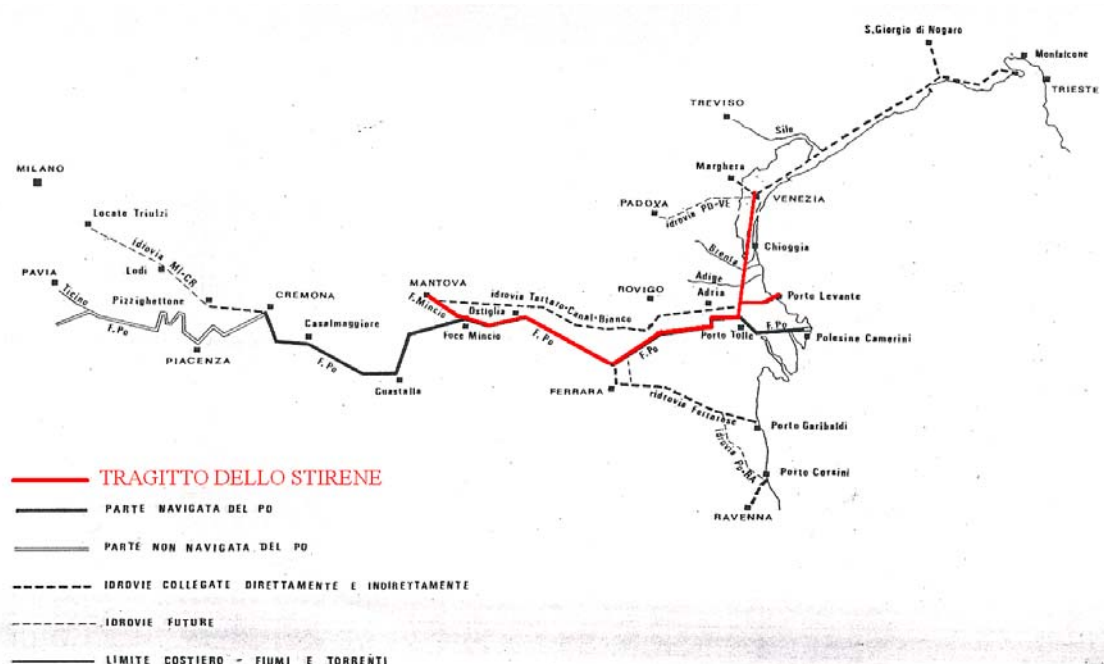


Fig. 1. – Schema dell'idrovia padano-veneta.

Le merci che utilizzano il sistema idroviario sono polarizzate su poche categorie merceologiche: cereali, olio combustibile, GPL, prodotti chimici, inerti e carichi eccezionali. I principali utenti dell'idrovia sono l'Abibes di Cremona che sfrutta il Po per trasferire il GPL a Cremona dal terminal presente a Porto Levante, e la Polimeri Europa (ex EniChem) che la utilizza per il trasporto di sostanze chimiche (stirene, acetone e cicloesano) tra i poli petrolchimici di Mantova, Marghera e Ravenna.

Nel seguente studio si è posta l'attenzione sui prodotti chimici che vengono movimentati dalla Fluvio Padana, per conto della Polimeri Europa, dal porto di Mantova a Porto Marghera o a Ravenna (uscendo in mare a Porto Levante) utilizzando dei convogli composti da uno spintore fluviale e da due chiatte con cisterne segregate per i prodotti liquidi.

Le chiatte utilizzate per il trasporto dei chimici appartengono alla serie ECO (fig.2) hanno una struttura a doppio scafo con un'intercapedine di 0,7 m riempibile d'acqua per esigenze di zavorramento. Ogni scafo si compone di 6 cisterne indipendenti rivestite in zinco, con una lunghezza di 39.65 m, una larghezza di 9.5 m, un pescaggio massimo di 2.4 m e un volume di carico di 750 mc. Per esigenze di sicurezza, si trasporta una sola tipologia di prodotto alla volta.



Fig. 2. – Convoglio di chiatte per prodotti chimici.

Uno dei prodotti chimici maggiormente trasportati è lo stirene (64 convogli transitati per un totale di 70.815 t nel 2001, circa il 20% del totale traffico merci): si tratta di una sostanza chimica prodotta nello stabilimento della Polimeri Europa di Mantova successivamente trasferita, per la produzione di polistirene, presso il polo petrolchimico di Ravenna.

CARATTERISTICHE DI RISCHIO

Lo stirene è un monomero ricavato per deidrogenazione catalitica del benzene; viene trasportato allo stato liquido a pressione atmosferica, ha un colore debolmente giallognolo, un odore pungente simile al cloroformio che può essere percepito nell'aria in concentrazioni superiori a 0,036 mg/m³. Esposto alla luce o al calore, ad una temperatura di 65 °C tende a polimerizzare; è infiammabile (flash point 31 °C, limiti di infiammabilità 1,1% e 6,1% volume). I vapori hanno densità relativa all'aria pari a 3,6; il limite massimo di miscibilità in acqua, ad una temperatura di 20 °C, è pari a 343,7 mg/L.

Nel caso di uno sversamento di una sostanza inquinante all'interno di un corpo idrico, l'indicatore di tossicità del corpo acquatico, maggiormente considerato dalle normative ambientali mondiali, è la grandezza LC₅₀ (median lethal concentration), cioè la concentrazione che sperimentalmente provoca la mortalità del 50% di una certa specie acquatica in un periodo di tempo specificato, solitamente 24-48-96 ore. Le specie acquatiche che usualmente sono utilizzate per i test di tossicità acuta sono: *Daphnia magna* (pulce d'acqua), *Oncorhynchus mykiss* (trota iridea), *Carassius auratus* (pesce rosso), *Cyprinus carpa* (carpa), *Lepomis macrochirus*, *Phimephales promelas*, *Lesbites reticulatus*. Per facilitare la sperimentazione, si fa riferimento alla *Daphnia magna* per un'esposizione di 24 ore: la scelta di organismi piccoli rende la procedura più

agevole ed economica per la minore richiesta di spazio nei laboratori. Si riportano di seguito, ad esempio, i valori sperimentali di LC₅₀ dello stirene.

LC50 (mg/L)	tempo esposizione (ore)	Specie acquatica
27	24	Daphnia magna
23	48	Daphnia magna
25	96	Lepomis macrochirus
46	96	Phimephales promelas
65	96	Carassius auratus
75	96	Lesbites reticulatus

Tab. 1. - Limiti di tossicità acquatica dello stirene (fonte US EPA).

Nella maggior parte dei casi, però, il tempo di esposizione è piuttosto lungo, mentre nella quasi generalità dei casi di incidente ipotizzabili in ambito fluviale si avrà una durata dello sversamento molto più breve. Anche nel caso di svuotamento completo di una cisterna potrebbero ipotizzarsi tempi di qualche ora; salvo casi particolari, il flusso continuo del fiume avrà un effetto di diluizione ed al contempo di trasporto dell'inquinante a valle, quindi la persistenza di una data concentrazione in un dato punto durerà pressappoco quanto dura lo sversamento, poi inizierà a diminuire per effetto della diluizione. Le soglie LC₅₀ sopra citate possono quindi configurarsi solo come indicatori cautelativi, in mancanza di altri dati specifici.

Per quanto riguarda gli effetti sull'uomo la situazione appare ancora più complessa, dovendo considerare sia la possibilità di intossicazione nel caso di uso potabile dell'acqua del fiume, sia il pericolo costituito dall'eventuale uso irriguo dell'acqua (assorbimento da parte di colture ad uso alimentare e danni alla flora in genere).

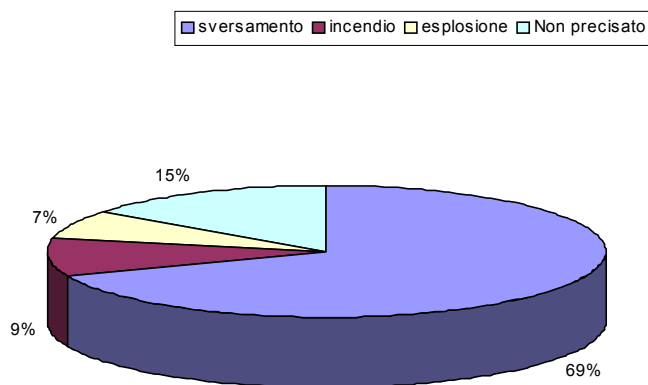
ANALISI DEI RISCHI

ANALISI STORICA SUGLI INCIDENTI FLUVIALI

Nella prima fase dell'attività di ricerca sulla sicurezza del trasporto di sostanze pericolose lungo il fiume Po, si è proceduto all'individuazione delle caratteristiche tipiche di un incidente fluviale correlato al trasporto di sostanze pericolose. Vista la quasi totale mancanza di incidenti documentati nell'idrovia padano-veneta, a causa del ruolo ancora marginale della navigazione interna come sistema di trasporto in Italia, si è resa necessaria una ricerca storica presso alcune banche dati internazionali di tutti gli incidenti fluviali documentati nel mondo. Nei database consultati sono stati reperiti 129 casi diversi, verificatisi in un arco di tempo compreso tra il 1972 e il 2002; il Mississippi (Stati Uniti) e il Reno (Germania) sono i fiumi dove sono stati reperiti il maggior numero dei casi, in virtù del loro intenso sfruttamento come idrovie.

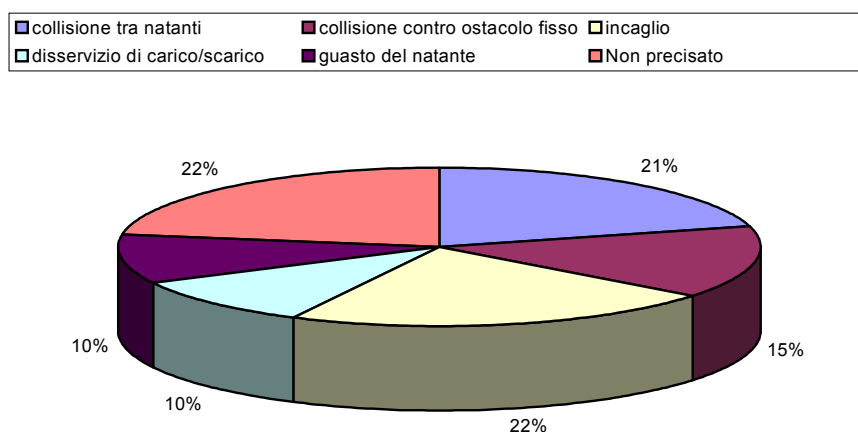
La tipologia di trasporto fluviale considerata è quella che avviene tramite imbarcazioni che trasportano materiali sfusi, per lo più allo stato liquido, all'interno di cisterne segregate. Tali imbarcazioni usualmente sono chiatte ("barge" in letteratura anglosassone) movimentate da spintori fluviali, oppure, se le caratteristiche idrogeologiche e le dimensioni dell'idrovia lo permettano, come avviene nel Mississippi, da navi dette "cargo tanker".

Si è eseguita una suddivisione dei casi di incidente reperiti in base a categorie di fenomeni incidentali ottenendo le seguenti indicazioni (grafico 1).



Graf. 1. Evento primario conseguente un incidente fluviale

Per quanto riguarda lo studio delle cause, anche la tipologia di incidente e la fase in cui si manifesta appare fornire indicazioni utili ad una stima della frequenza attesa. Nel grafico 2 sono riportate le informazioni reperite.



Graf. 2. Cause incidente

Data la sinteticità delle informazioni riportate nelle banche dati non è stato possibile associare una magnitudo di danno agli eventi, anche se sarebbe molto utile poter avere riscontri sia in termini di danni a persone o all'ambiente, sia per quanto riguarda il danno economico.

La maggior parte delle sostanze coinvolte negli incidenti lungo le idrovie mondiali è costituita da prodotti petroliferi (olio combustibile, benzina e gasolio in particolare) per un totale dell'84% dei casi, mentre, il rimanente 16% interessa prodotti chimici di varia natura.

I rischi preponderanti in questo ambito appaiono essere il danneggiamento della flora e della fauna fluviale, con ripercussioni anche sull'ecosistema in caso di sversamenti rilevanti. Questi rischi, tuttavia, appaiono correlati più all'uso irriguo o potabile dell'acqua che non ad esposizione diretta; infatti, trattandosi in genere di sostanze liquide con limitata tensione di vapore, l'area interessata dalla presenza di vapori in concentrazione pericolosa appare intuitivamente limitata.

La stima delle conseguenze potenziali è stata eseguita in termini di volume di sostanza rilasciato nel fiume e di danni alle persone. Nella maggior parte dei casi (73%), gli incidenti fluviali non risultano aver avuto ripercussioni dirette sulle persone, sia per la bassa incidenza di fenomeni quali l'incendio o l'esplosione, sia per la localizzazione spesso fuori dei centri abitati e comunque ad una certa distanza dai luoghi frequentati. Sulle conseguenze in termini di disagi o danni connessi all'interruzione degli usi irrigui o potabili, le informazioni sono quasi inesistenti, mentre in termini di

quantità rilasciata si osserva una prevalenza dei casi con ordine di grandezza del volume sversato compreso tra i 10 e i 1000 mc.

STIMA DELLA FREQUENZA DI INCIDENTE

È stata effettuata con riferimento al tratto maggiormente trafficato del fiume Po, ossia nel tratto che va dal Porto di Mantova alla conca di Volta Grimana. Data l'entità ancora ridotta dei traffici sull'idrovia e la conseguente assenza di serie storiche sugli incidenti fluviali, si è dovuto seguire un approccio di tipo teorico.

Per la valutazione della frequenza attesa di incidente si è utilizzato un codice di simulazione denominato "PROCOL" (acronimo di PRObabilità di COLLisione). Il programma schematizza l'area di studio con una geometria di forma quadrata, un fiume, quindi, è implementato dal programma come una successione di zone quadrate di dimensioni pari alla larghezza puntuale del corso d'acqua. Le variabili richieste per l'elaborazione sono costituite dalle caratteristiche delle imbarcazioni che attraversano la zona (lunghezza, larghezza, velocità), dall'entità del traffico navale nella zona e dalle dimensioni caratteristiche del tratto di fiume in esame e di eventuali ostacoli fissi presenti (pontili, navi ormeggiate, piloni, ecc...).

L'algoritmo di calcolo impiegato considera la collisione in un sistema di riferimento fisso centrato su una delle due imbarcazioni e assume come velocità di impatto la velocità relativa tra i due natanti. Assumendo che due imbarcazioni i e j si incrocino a velocità costante in una zona avente dimensioni caratteristiche D (area D^2), il numero di collisioni attese in un anno è pari a:

$$C_{ij} = t_i P_i P_{ij}$$

dove, t_i è il tempo di attraversamento della zona da parte della barca i , P_j la probabilità di trovare la barca j nella zona e P_{ij} è la probabilità di collisione. Mediante opportune assunzioni e introducendo alcune grandezze ausiliarie (un flusso di collisione e una funzione di densità anisotropa) si perviene ad una espressione algebrica semplificata di C_{ij} in funzione delle sole velocità e dimensioni dei natanti. L'equazione può essere adattata al caso di impatto contro ostacoli fissi come natanti ormeggiati, piloni di ponti, banchine, ecc.

Nell'ottica dell'analisi del rischio di incidente rilevante, è stata considerata la probabilità di incidente riferita al solo traffico commerciale di sostanze pericolose (GPL, oli combustibili, stirene, acetone e cicloesano). I dati utilizzati sono riferiti all'anno 2001 (fonte COVNI) e considerano il numero di passaggi, sia in salita che in discesa, presso la conca di volta Grimana; in particolare, si sono considerati solo i convogli di merci a pieno carico, in quanto unici con un dislocamento significativo in termini di probabilità di penetrazione dello scafo.

Per quanto riguarda la probabilità di impatto contro ostacoli fissi, invece, si è considerata la possibilità di impatto di una chiatte con sostanze pericolose contro uno dei piloni degli 8 ponti stradali, autostradali e ferroviari presenti tra il porto di Mantova e la conca di Volta Grimana (Fig. 3), assumendo una dimensione tipica in pianta di un pilone in acqua pari a 1,5 per 10 m.

I risultati della simulazione teorica di collisione, per le varie tipologie di prodotti pericolosi, sono riportati nella tabella 2.

Da rilevare come il termine predominante per la frequenza cumulata di incidente sia rappresentato dall'impatto contro i piloni dei ponti (ordine di grandezza 10^{-3}), ciò è giustificato dall'entità attualmente limitata del traffico, che rende poco probabile la collisione tra due natanti in navigazione (ordini di grandezza tra 10^{-6} e 10^{-7}).

Come risultato complessivo, infine, dalla tabella si ricava che la frequenza attesa di accadimento di un incidente è pari a $2,30E-2$ occasioni/anno (in termini più generici, il tempo di ritorno stimato è circa 43 anni); ciò appare anche plausibile se si considera che il traffico secondo le modalità e i quantitativi attuali è cominciato a partire dal 1992 e che un urto di un convoglio di chiatte che trasportava olio combustibile contro il pilone di un ponte è già avvenuto qualche anno fa.



Fig. 3. – Ponti presenti sul Po.

		impatto contro altri natanti carichi						impatto contro ostacoli fissi	TOT.
		GPL	olio comb.	stirene	chimici	rinfuse secche	carichi eccezionali	pilone ponte	
sostanze pericolose	GPL	-	-	9,30E-07	1,57E-06	-	-	7,63E-03	7.63E-03
	olio comb.	-	-	3,38E-07	2,69 E-7	-	-	2,81E-03	2,81E-03
	stirene	9,30E-07	3,38E-07	-	-	3,03E-07	3,03E-07	4,74E-03	4,74E-03
	chimici	1,57E-06	7,02E-07	-	-	6,29E-07	2,53E-07	7,84E-03	7,84E-03
TOT.									2,30-02

Tab. 2. – Frequenze di collisione attese per convogli di sostanze pericolose.

Con riferimento alla probabilità di penetrazione in seguito alla collisione, invece, è da rilevare che il problema dell'analisi della resistenza delle navi all'impatto è assai complesso e tuttora motivo di analisi statistiche e sperimentali. Il metodo previsionale di più comune applicazione è quello semi-empirico di Minorsky che correla la resistenza strutturale del natante all'energia cinetica della collisione. Per una data classe di imbarcazioni Minorsky ha ricavato delle coppie critiche di massa e velocità normali alla fiancata della nave che possono provocare la penetrazione e lo sversamento del contenuto delle cisterne. Il problema del metodo di Minorsky è la forte dipendenza dalla classe della nave: molti degli studi reperibili in letteratura riportano le coppie critiche solo per navi metaniere e fanno riferimento esclusivamente al caso di impatto ortogonale alla fiancata.

Nel seguente studio, quindi, si è preferito, considerare i soli valori della probabilità di collisione senza approfondire il tema della probabilità di penetrazione in seguito all'impatto.

STIMA DELLE CONSEGUENZE

Basandosi sulle indicazioni dell'analisi storica, considerando che la sostanza in esame ha un punto di infiammabilità superiore sia alla temperatura media ambiente che a quella delle acque, si è privilegiato lo studio delle conseguenze relative all'inquinamento delle acque, tralasciando invece l'indagine sull'eventualità di incendio del liquido sversato.

Riferendosi all'urto di una chiatta contro il pilone di un ponte, che appare essere l'incidente meno remoto, si è assunto che in seguito all'impatto si verifichi la rottura dello scafo e della parete di una cisterna della serie ECO carico di stirene.

Ciò comporta la fuoriuscita del contenuto di una delle cisterne secondo tempi e portate di sversamento dipendenti dalle dimensioni del foro (inteso come diametro equivalente) e dalla collocazione dello stesso in relazione al pelo libero del fiume e al livello dello stirene all'interno delle cisterne.

Considerando la condizione di massimo carico della chiatta, cioè 750 m^3 , corrispondenti in peso a 680 t di stirene ripartite tra le 6 cisterne di geometria pressoché prismatica, si può stimare che con un'immersione di 2,4 m, tenendo conto del margine di sicurezza imposto per la navigazione, sia richiesta un'altezza idrica di 2,5 m, cui si può far corrispondere indicativamente una portata del fiume di circa $1400 \text{ m}^3/\text{s}$. Il valore massimo di portata del Po, in condizioni ancora navigabili, è di circa $3600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si assume che l'urto avvenga all'altezza del pelo libero dell'acqua e la rottura interessi una delle due cisterne di prora; la carenza di dati precisi su casi analoghi ha portato ad ipotizzare fori di diametro equivalente basati su esperienze limitate di analisi del rischio, assumendo misure di 100, 150 e 200 mm. Ciò in considerazione della bassa probabilità di penetrazione in caso di urto determinata dalla velocità contenuta e dalla massa limitata delle chiatte.

Per una delle due cisterna di prora nelle condizioni di massimo carico di 150 m^3 e pescaggio 2.4 m, con uno squarcio all'altezza del pelo libero dell'acqua, dai disegni della chiatta si ricava un volume sversato di 50 m^3 .

Si è assunto che la fuoriuscita continui finché il livello del serbatoio eguaglia quello del pelo libero dell'acqua all'altezza dello squarcio. I tempi e le portate di svuotamento t_{sv} della cisterna per i tre valori del diametro equivalente assunti per la perforazione, sono stati ricavati con l'ipotesi di efflusso da serbatoio prismatico con luce di scarico esposta all'atmosfera. I valori delle portate medie e dei tempi di sversamento sono riassunti in tabella 3.

	diametro 200 mm	diametro 150 mm	diametro 100 mm
t_{sv}	22'	38'	1 h 25'
$Q_{sv} (\text{m}^3/\text{s})$	0,0392	0,0219	0,0097

Tab. 3. – Portate e tempi di sversamento.

La località, in corrispondenza della quale si è localizzato, per ipotesi, l'incidente è presso Pontelagoscuro, in provincia di Ferrara, che appare come uno dei punti più critici per la navigazione sul Po: si trova su di un'ansa del fiume in concomitanza con una strettoia, ma soprattutto vi sono due ponti, uno stradale e uno ferroviario distanti soli 200 m e con i pilastri di sostegno oltretutto non allineati. Queste strutture obbligano i comandanti dei convogli di chiatte (lunghe oltre 100 m), ad impostare il passaggio sotto il secondo dei due ponti quando si trovano a transitare ancora sotto il primo; la difficoltà è ancora più pronunciata quando si naviga a favore di corrente, essendo l'imbarcazione meno controllabile. Se poi si considera che nella zona della Pianura Padana le nebbie non sono evento raro appare evidente la difficoltà della navigazione in questo punto.

Il tratto di fiume considerato, per l'osservazione del fenomeno inquinante, prosegue per una lunghezza di circa 36 km fino a Papozze, in provincia di Rovigo, località scelta per semplificare la simulazione e rendere più attendibili i risultati numerici: su tale tratto, infatti, non vi sono né affluenti né diramazioni quindi la portata del fiume può essere assunta costante. Il tratto considerato, poi, trovandosi a sufficiente distanza dal mare, non risente dei fenomeni di marea che caratterizzano il delta del Po.

Modelli di simulazione applicati

Per valutare l'impatto ambientale conseguente allo sversamento di stirene nel fiume, si è utilizzato un codice numerico basato sul modello teorico monodimensionale di dispersione longitudinale di Taylor: il codice REMM, acronimo di Riverine Emergency Management Model, è stato sviluppato negli Stati Uniti dall'U.S. Army Corp of Engineers: la prima versione del programma, risalente al 1995, permetteva di calcolare solamente il "travel time" (tempo di passaggio del picco di inquinante a valle del punto di sversamento) facendo riferimento alle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua; l'ultima versione del programma, invece, è del

dicembre 1998 e permette di calcolare anche la variazione della concentrazione della sostanza inquinata lungo il corso d'acqua.

L'algoritmo di Taylor, su cui si fonda il programma, permette di stimare la variazione nel tempo e nello spazio dei valori di concentrazione dell'inquinante a valle del punto di sversamento, tuttavia, la sua validità si limita alle sostanze miscibili con densità relativa rispetto all'acqua unitaria, uno scostamento da queste condizioni porta a dei risultati poco attendibili; altre semplificazioni rilevanti sono rappresentate dall'ipotesi che nell'istante di sversamento l'inquinante interessa l'intera colonna liquida del fiume e dal carattere monodimensionale del fiume quando i corsi d'acqua naturali, invece, a causa della loro conformazione irregolare presentano una serie di moti secondari di entità non trascurabile.

Il codice REMM modella il fiume mediante una discretizzazione longitudinale, tutte le caratteristiche idrauliche e geometriche del corso d'acqua sono riferite ad una serie di sezioni trasversali: sono richieste in particolare il profilo geometrico dell'alveo nelle singole sezioni, la relazione tra portata, altezza idrometrica e velocità media della corrente, i coefficienti di scabrezza di Manning, i coefficienti di dispersione longitudinale e i coefficienti di diffusione turbolenta orizzontale. Nella figura 4 si riporta lo schema delle sezioni adottate nel tratto di studio.

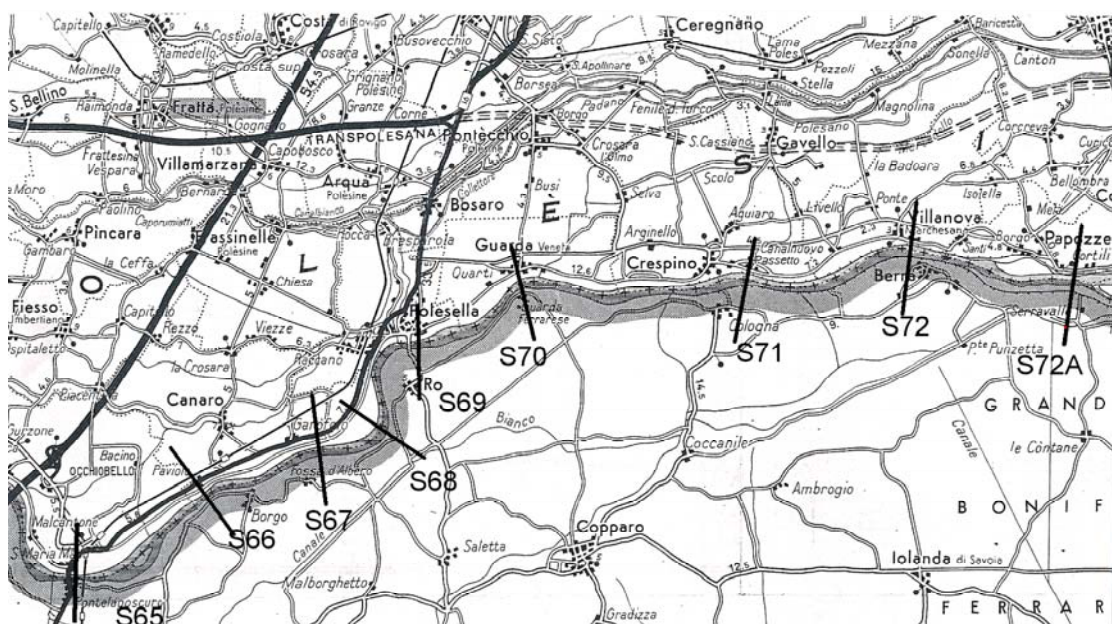


Fig. 4. - Sezioni trasversali considerate.

Sono richieste, inoltre, come input del codice di calcolo, anche alcune grandezze ambientali, quali le temperature dell'acqua, dell'aria e la torbidità dell'acqua, al fine di stimare la frazione di inquinante che viene rimossa dall'acqua per effetto della volatilizzazione e dell'assorbimento da parte dei detriti in sospensione. Per gli stessi motivi, sono richieste anche alcune caratteristiche chimiche della sostanza che viene sversata, che nel nostro caso è lo stirene.

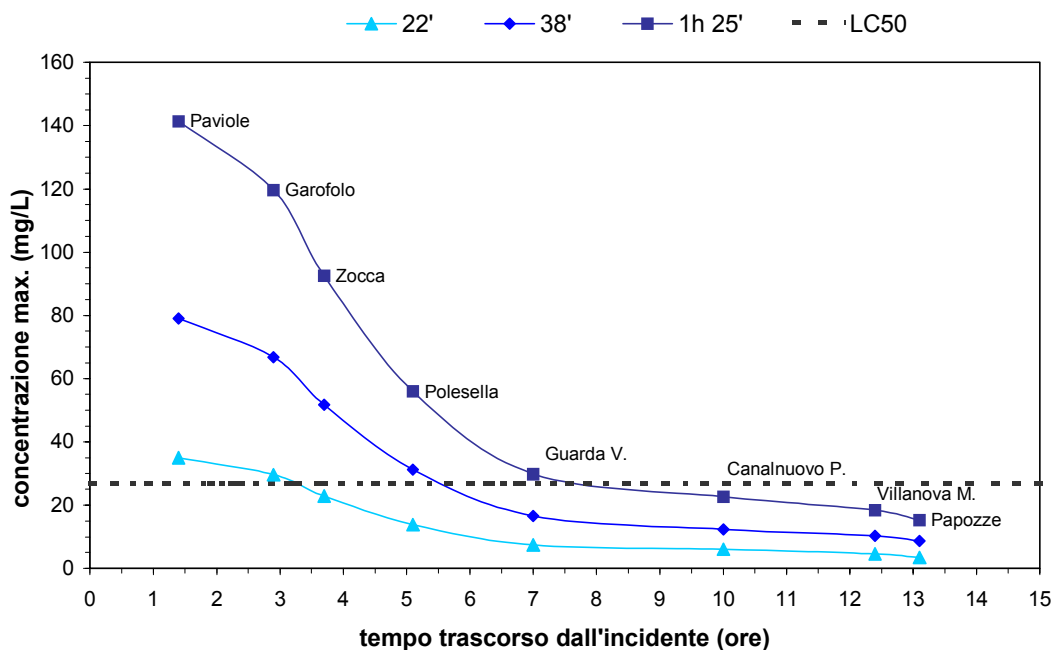
Le fonti principali consultate per il reperimento e la stima di tali grandezze sono il Magistrato per il Po della sezione di Rovigo, l'ARPA Emilia Romagna e l'ARPA Veneto.

Risultati

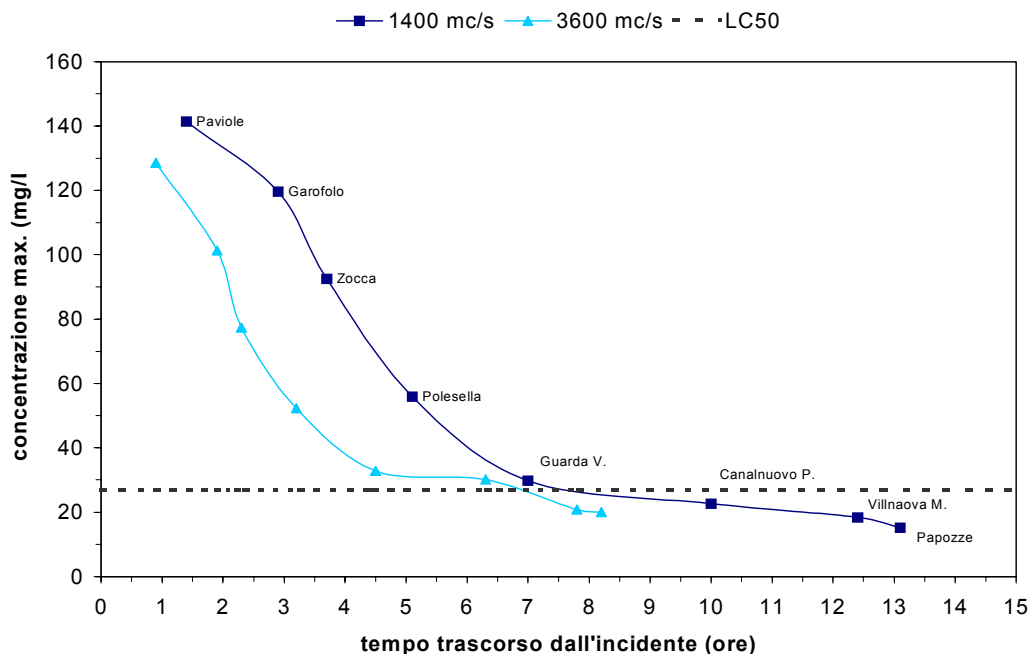
Utilizzando il codice REMM, si sono ricavati, per le tre condizioni di sversamento ipotizzate, i valori di concentrazione massima e i tempi di arrivo del picco di inquinante nel tratto di fiume a valle di Pontelagoscuro, fino alla località di Papozze.

I risultati della simulazione, sono illustrati sinteticamente nei seguenti grafici che riportano le curve di concentrazione massima per le due condizioni di portata del fiume per i tre diametri equivalenti di perforazione assunti nell'ipotesi di incidente. Gli indicatori sulle curve, stanno ad indicare le località intermedie considerate nella discretizzazione longitudinale del fiume. Da osservare, che su tutti i grafici è indicato con linea tratteggiata, come termine indicativo del grado di pericolosità dell'evento accidentale, il valore limite di tossicità acquatica LC_{50} dello stirene,

assumendo come specie acquatica di riferimento la *Daphnia magna*: in letteratura la concentrazione letale per il 50% della popolazione di un saggio di tale specie, per un'esposizione di 24 ore, è di 27 mg/L.



Graf. 3. – Concentrazioni massime per una portata di 1400 m³/s.



Graf. 4. – Concentrazioni massime per uno sversamento di 50 m³ in 22'.

Dai risultati della simulazione si evince che, per un dato regime idraulico del fiume, all'aumentare della portata di sversamento i tempi di arrivo dei picchi di concentrazione rimangono invariati, dipendendo questi esclusivamente dalla velocità del corso d'acqua. Le concentrazioni massime, invece, sono più elevate con l'aumento della portata di rilascio (es, per portata fiume 1400 m³/s, a distanza di 36,4 km dal punto di rilascio, i massimi di concentrazione risultano 3,4 – 8,7 e 15,2 mg/L per tempi di rilascio rispettivamente di 1h 25', 38' e 22').

La portata del fiume influisce sulle conseguenze sia nei tempi di arrivo sia nei valori massimi di concentrazione (graf. 4): il tempo di arrivo previsto del picco di inquinante nella stazione terminale di Papozze per una portata di 3600 m³/s è di 8,2 ore rispetto alle circa 13 ore stimate con la portata di 1400 m³/s. Riguardo l'influenza sui valori di concentrazione la portata del fiume ha un duplice effetto: se aumenta la portata del corso d'acqua, e conseguentemente anche la velocità media del fiume, la dispersione longitudinale aumenta, i valori di concentrazione massimi tendono quindi a diminuire, tuttavia, essendo i tempi di trasporto inferiori, la quota di inquinante soggetta a decadimento è inferiore, infatti, si osserva che a partire da una certa distanza, nella fattispecie Guarda Veneta, i valori di concentrazione nelle condizioni di massima portata tendono ad essere superiori rispetto a quelli di minima portata.

I tempi di permanenza dell'inquinante al di sopra dei valori limite di tossicità acquatica si riducono al diminuire della portata del fiume, e al decrescere delle dimensioni del foro equivalente: al diminuire del foro, pur aumentando i tempi di sversamento si evince che a influenzare in maniera determinate il tempo di passaggio è il valore massimo del picco di concentrazione.

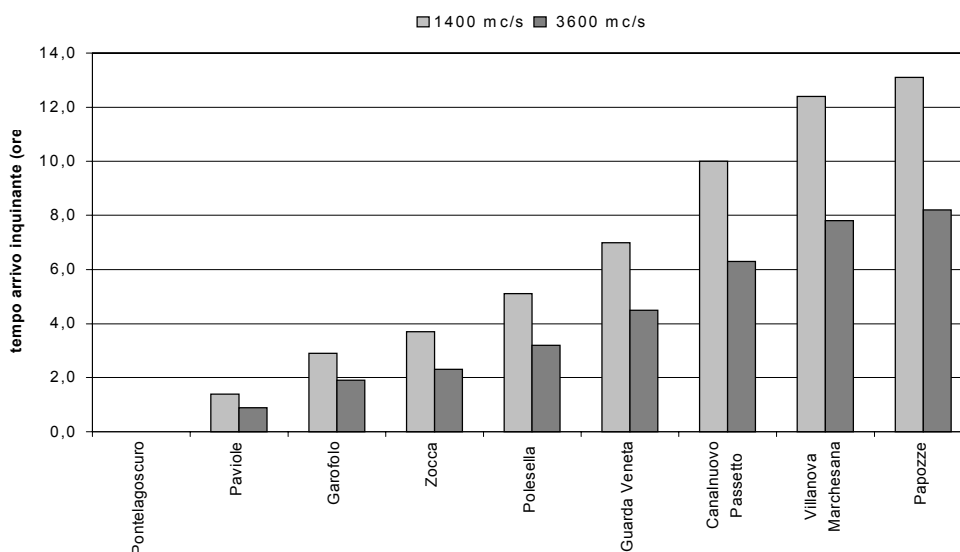
I valori di concentrazione dell'inquinante forniti dal modello evidenziano un effettivo problema di intossicazione acuta, più accentuato in prossimità della zona di sversamento e con attenuazione progressiva all'aumentare della distanza dal punto di sversamento. In ogni caso, i valori di concentrazione ottenuti dalla simulazione sono di molto superiori al limite di 0,01 mg/L imposto per una "immissione incontrollata" dal Decreto Legislativo 152.

Al problema ambientale si affiancano alcune complicazioni riguardanti la sicurezza civile, specie per sostanze particolarmente infiammabili che comportano pericoli concreti di incendio, con rischi per gli addetti alla navigazione, per i soccorritori nei pressi dell'incidente e per la popolazione civile. Da non trascurare infine che l'acqua del Po rifornisce numerosi acquedotti, impianti di irrigazione e allevamenti di mitili che risentirebbero pesantemente sia in termini umani sia economici dell'evento inquinante

MISURE DI PROTEZIONE

Vista la mancanza di esperienza in Italia nel campo degli incidenti fluviali, sono state analizzate alcune procedure di soccorso adottate negli USA, in particolare alle disposizioni fornite da alcuni enti governativi quali l'E.P.A., il N.O.A.A. (National Ocean and Atmospheric Administration) e l'U.S. Army Corp of Engineers.

Le procedure di intervento che negli USA vengono impiegate nel caso di fuoriuscita di un liquido inquinante come lo stirene in un fiume sono essenzialmente quelle concepite per lo sversamento di oli combustibili, in particolare le barriere galleggianti. Da osservare che, con riferimento ai tempi necessari per l'attivazione e l'applicazione delle procedure di protezione, le condizioni di portata del fiume più elevate sono più gravose essendo i tempi concessi per l'intervento minori (grafico 5).



Graf. 5. – Tempi di arrivo dei picchi di concentrazione dell'inquinante.

L'impiego delle barriere galleggianti deve essere seguito dalla rimozione della massa inquinante dal corpo idrico che può avvenire secondo svariate procedure, in linea generale, sono da preferirsi gli interventi di tipo meccanico a quelli di tipo chimico o biologico poiché l'impiego di questi ultimi può peggiorare una già delicata situazione ambientale, sia perché in molti casi i prodotti della decomposizione indotta dagli agenti chimici hanno un'elevata tossicità, pari se non superiore al prodotto di partenza, sia perché gli agenti stessi possono avere caratteristiche inquinanti. Nel caso specifico dello stirene, la sua natura oleosa e la tendenza a galleggiare rendono possibile l'utilizzo di sistemi di rimozione di tipo meccanico (pompe o discoil), dopo avere confinato la macchia con le barriere galleggianti.

Qualsiasi sia il tipo di intervento scelto, è sempre di fondamentale importanza la presenza di un'imbarcazione opportunamente attrezzata per le operazioni di soccorso. Lungo il Po, solo il Comando dei VVF di Rovigo dispone dal 2001, presso il distaccamento di Adria, di un'imbarcazione progettata appositamente per questo tipo di interventi: si tratta di un natante lungo 9 e largo 3 m, spinto da due motori da 250 CV, dotato di una gru idraulica da 2400N avente sbraccio massimo di 4,5 m, con in dotazione alcune attrezzature per il contenimento e la rimozione di liquidi inquinanti (panne galleggianti e DISCOIL).

CONCLUSIONI

Lo studio ha esaminato il caso d'incidente ad un natante per il trasporto di sostanze pericolose lungo il fiume Po, ipotizzando lo sversamento di parte del carico liquido trasportato (stirene) ed analizzando l'evoluzione dei fenomeni e gli scenari che ne possono derivare. Mediante l'applicazione di un codice di calcolo in grado di simulare questo tipo di emergenza ambientale si è ottenuta una stima dei tempi di passaggio dell'inquinante e dei valori di concentrazione a valle del punto di sversamento.

Dai risultati si evince che per un dato regime idraulico del fiume, all'aumentare della portata di sversamento di stirene, i valori massimi di concentrazione aumentano, mentre, i tempi di arrivo dei picchi di concentrazione rimangono invariati, dipendendo questi esclusivamente dalla velocità del corso d'acqua. La portata del fiume, invece, influisce sull'evento accidentale modificando sia i tempi di arrivo sia i valori di concentrazione: portate maggiori comportano sempre tempi di trasporto inferiori, mentre si osservano concentrazioni minori soprattutto nelle località immediatamente a valle del punto di sversamento.

Riguardo l'emergenza ambientale, esaminando anche i tempi di permanenza dell'inquinante al di sopra dei valori limite di tossicità acquatica, si delineano problemi connessi con i dati disponibili sulla tossicità per l'ambiente e gli organismi acquatici, tuttavia non è stato possibile considerare le interazioni con l'uso irriguo o potabile dell'acqua.

Sono infine state considerate le procedure di intervento applicabili nelle varie fasi, con riferimento alle misure di protezione fornite dall'esperienza statunitense nel campo degli incidenti fluviali: il metodo meno invasivo e più efficace per l'arresto della macchia inquinante dal fiume è quello di utilizzare panne galleggianti e successivamente rimuoverla dal fiume mediante pompe o separatori a superficie.

Dall'esercitazione teorica condotta emergono anche alcune esigenze in merito alla raccolta e registrazione dei dati sul traffico, ma soprattutto allo sviluppo di modelli in grado di simulare gli effetti di collisioni nell'ambito fluviale italiano e di stimare le conseguenze o i danni conseguenti a sversamenti di sostanze solubili ed insolubili in acque, tenendo conto anche degli usi dell'acqua.

Ciò permetterebbe una stima più affidabile del livello di tollerabilità del rischio e scelte basate sul criterio rischi-benefici, in modo da studiare anche concrete misure di sicurezza per la prevenzione e per la gestione di eventuali emergenze.