

**DEFINIZIONE, PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE PROTOTIPALE
DI UN SISTEMA INFORMATIVO DISTRIBUITO PER L'IDENTIFICAZIONE,
IL MONITORAGGIO E LA GESTIONE DEI FLUSSI VEICOLARI DI MERCI PERICOLOSE**

**Bensa M. 1, Bersani C. 1, Casazza R. 2, Garbolino E. 2,
Giglio D. 1, Olampi S. 2, Sacile R. 1 e Trasforini E. 1**

**1 DIST – Università di Genova – c/o Polo Savonese, via Cadorna 7, 17100 Savona, Italia
2 ARMINES, rue Claude Daunesse BP 207, 06904 Sophia Antipolis, France**

SOMMARIO

In questo lavoro vengono presentati gli obiettivi ed i primi risultati di un progetto di ricerca finanziato dal programma Interreg-Alcotra (Alpi Latine Cooperazione Transfrontaliera Italia-Francia). Il progetto si prefigge di promuovere una migliore gestione delle flotte di automezzi pesanti delle società che esportano merci pericolose sul territorio transfrontaliero Nizza - Imperia - Savona, e fornire informazioni oggettive agli enti competenti sulla natura, il numero ed i percorsi di trasporti di merci pericolose nell'ambito di questo spazio transfrontaliero. Vengono quindi descritte l'architettura del sistema informativo distribuito a supporto della messa in sicurezza delle infrastrutture di trasporto, le metodologie a supporto della valutazione del rischio e gli sviluppi futuri di tale progetto, e la prima implementazione del prototipo operativo del sistema. Particolare enfasi viene data alla descrizione delle tecnologie utilizzate per il monitoraggio dei flussi veicolari che trasportano merci pericolose attraverso apparecchiature posizionate a bordo dei veicoli e sulla stessa infrastruttura. Nelle conclusioni vengono commentati vantaggi e svantaggi delle tecnologie adottate, il lavoro ancora da svolgere nella definizione delle funzioni di rischio, e gli sviluppi futuri di tale progetto.

1.0 INTRODUZIONE

La firma del 19 giugno 1990 della convenzione per l'applicazione del trattato di Schengen da parte dei paesi della CEE ha permesso di abolire i controlli delle persone e delle merci alle frontiere comuni, in particolare tra la Francia e l'Italia. Tenendo conto soltanto del trasporto terrestre, per tutti i paesi dell'Unione europea, la crescita più significativa si è avvertita quasi soltanto nel settore dei trasporti stradali. Questi scambi comportano così un flusso importante di automezzi pesanti nelle zone transfrontaliere, come ne testimoniano le cifre per Ventimiglia (Italia) dove il totale per l'anno 2003 tocca più di 1.460.000 automezzi pesanti (quasi 4.600 al giorno). Fra queste merci, alcune corrispondono a materie pericolose (20% circa secondo le stime) di cui, spesso, i responsabili di autostrade e le autorità pubbliche non conoscono precisamente né la natura, né la quantità, né il percorso per la distribuzione.

Poiché il territorio analizzato ricopre un'area di interesse transfrontaliero in cui operano diverse strutture preposte alla gestione del territorio e della viabilità, nasce l'esigenza di introdurre strumenti e tecnologie innovative per identificare e monitorare gli automezzi su tutto l'asse Nizza – Imperia – Savona. Tale esigenza scaturisce dalla considerazione che la scarsità di strumentazioni adeguate a sostenere l'attuale traffico di merci pericolose su tutto il territorio, ma in particolare su quello considerato, sarà in futuro ancor più insufficiente vista la prevedibile crescita di mobilità di merci tra i due paesi.

Gli obiettivi di questo progetto sono di promuovere una migliore gestione delle flotte di automezzi pesanti delle società che esportano merci pericolose sul territorio transfrontaliero Nizza - Imperia - Savona, e fornire informazioni oggettive agli enti competenti sulla natura, il numero ed i percorsi di trasporti di merci pericolose nell'ambito di questo spazio transfrontaliero.

In particolare si evidenziano:

1. la definizione di strumenti, tecnologie e strategie operative comuni per la gestione integrata e il monitoraggio di automezzi per il trasporto di merci pericolose con l'obiettivo di un coinvolgimento attivo di entrambi i Paesi;
2. la realizzazione di un sistema integrato per l'identificazione e il monitoraggio (e la conseguente prevenzione del rischio connesso al trasporto di merce pericolosa) per mezzo di :

- quantificazione degli automezzi e identificazione di merci pericolose trasportate
- monitoraggio dei mezzi in real-time:
 - tipo di merce trasportata;
 - quantità trasportata;
 - percorso;
 - dati sulle caratteristiche e sulla tipologia di strada
 - acquisizione di dati meteorologici sul percorso
- valutazione dei rischi derivati dal trasporto (identificazione di zone vulnerabili in riguardo dei rischi per la salute, l'ambiente; l'economia...sul percorso intrapreso)

Il progetto in corso di realizzazione può essere inquadrato in un contesto decisionale facendo uso di una classificazione gerarchica dei livelli decisionali che possono essere associati alla gestione delle merci pericolose. Questa classificazione comprende quattro livelli: il livello strategico, il livello tattico, il livello operativo e il livello di controllo in tempo reale. I quattro livelli sono ordinati secondo un orizzonte temporale decrescente e un livello di dettaglio, dei modelli utilizzati, crescente. Il livello strategico considera un orizzonte temporale di alcuni anni (in genere 5-10 anni) e deve prendere decisioni su modelli a scala nazionale; le decisioni che vengono prese in questo livello riguardano principalmente il dimensionamento dell'infrastruttura di trasporto nonché la definizione delle tipologie di merci pericolose che possono essere trasportate sull'infrastruttura considerata; tutte queste decisioni vengono prese sulla base di una stima della domanda di trasporto (scenario) sull'orizzonte temporale considerato. Il livello tattico considera un orizzonte temporale di alcuni mesi o, al massimo, di uno o due anni, e deve prendere decisioni su modelli il cui livello di dettaglio corrisponde a un'area geografica multi-regionale; le decisioni che vengono prese in questo livello sono sostanzialmente relative alla pianificazione del trasporto sul medio-periodo nel senso della definizione di quante e quali merci pericolose potranno essere fatte transitare sul territorio considerato e nel periodo di tempo preso in esame; queste decisioni vengono prese sulla base di una stima accurata della domanda di trasporto di merci pericolose nei prossimi mesi e sulla base della rete di infrastrutture configurata al livello decisionale strategico. Il livello operativo considera un orizzonte temporale di qualche giorno e le attività presenti a questo livello sono finalizzate alla schedulazione dei trasporti nella settimana/mese corrente; i modelli decisionali presenti nel livello operativo sono a scala regionale o, al massimo, a scala multi-regionale; la definizione dei trasporti può essere basata su specifici algoritmi di scheduling, su strategie di vehicle routing o su specifiche euristiche definite per il problema considerato, e dovrà tenere conto dei livelli di rischio associabili alle infrastrutture al fine di minimizzare il rischio derivante dal trasporto di merci pericolose. Il livello di controllo in tempo reale è infine finalizzato al monitoraggio continuo delle risorse di trasporto attraverso opportune strumentazioni hardware installate sui veicoli o sull'infrastruttura; le decisioni vengono prese su scala locale e riguardano un orizzonte temporale di alcuni secondi, minuti o, al limite, qualche ora; le strategie presenti in questo livello decisionale sono necessarie per contrastare inconvenienti sulla rete di trasporto quali la temporanea indisponibilità di infrastrutture o un'eccessiva densità di veicoli che trasportano merci pericolose su un certo tratto di rete. Il sistema informativo per l'identificazione, il monitoraggio e la gestione del trasporto di merci pericolose su strada, illustrato nel presente documento, opera a livello decisionale operativo e a livello decisionale di controllo in tempo reale.

Gli impatti previsti dal progetto sono i seguenti:

- determinazione dei dispositivi per il monitoraggio degli automezzi (presenti sia a bordo sia, tramite telecamere, lungo i tratti stradali considerati);
- estensione della superficie e del numero di mezzi monitorati e migliore conoscenza dei flussi di merci che percorrono il territorio considerato;
- incremento delle basi di dati disponibili;
- archiviazione e trattamento dei dati per favorire azioni sinergiche nella pianificazione e gestione comune del trattamento delle merci pericolose sul territorio considerato;

- la messa in comune delle informazioni e delle esperienze dei diversi partners consentirà di determinare quali tecnologie innovative adottare per un monitoraggio comune e sostenibile a livello transfrontaliero;
- miglioramento nella gestione della infrastrutture dei trasporti, tramite la definizione di sistemi di gestione e prevenzione in fase di definizione del rischio connesso, allo scopo di ridurre i tempi di intervento e ottimizzare le risorse disponibili in caso di incidente;
- identificazione di altri trasporti di merci pericolose, tramite telecamere, per la produzione di informazioni complementari per le aziende autostradali e i servizi pubblici.

2.0 REQUISITI DI UTENTE

Esistono tre principali categorie di utenti interessate a metodologie e tecnologie informative per la gestione in tempo reale del trasporto di merci pericolose su strada: le imprese di logistica e trasporto, le imprese e le autorità che gestiscono le infrastrutture stradali, e le istituzioni pubbliche territoriali. Ognuna di queste categorie ha requisiti di utenza diversi che sono riassunti ci seguito.

Le imprese di logistica e trasporto utilizzano già sistemi informativi evoluti per gestire il proprio trasporto in generale, merci pericolose incluse. Ad esempio, nella gestione della distribuzione di prodotti petroliferi a stazioni di servizio attraverso autobotti, funzionalità di utente comunemente richieste sono le seguenti:

- gestione degli ordini provenienti dalle stazioni di servizio
- pianificazione ed instradamento ottimo delle consegne, generalmente a cadenza giornaliera, attraverso l'applicazione di approcci algoritmici tradizionali di instradamento veicolare (ad esempio. Christofides, et al., 1981; Toth and Vigo, 2002)
- manutenzione mezzi ed amministrazione.

Negli ultimi anni, queste imprese hanno sentito l'esigenza di migliorare i propri sistemi informativi inserendo nuova informazione acquisita in tempo reale principalmente da ciascun mezzo e riguardante la posizione geografica corrente, la velocità, lo stato della merce pericolosa trasportata ecc... Questa esigenza è principalmente dovuta a due ragioni. Innanzi tutto, nel trasporto di merci pericolose esistono crescenti requisiti nel campo della sicurezza del trasporto (come ad es. prescritti dalla ADR 2005), sia per il valore della merce pericolosa stessa sia per il possibile suo utilizzo improprio. Inoltre, il tracciamento del trasporto su strada può migliorare l'efficienza della consegna (valutata per esempio considerando il costo complessivo del trasporto di una giornata) soprattutto se integrata con altre informazioni. Ad esempio, la conoscenza remota dei livelli di carburante nelle cisterne delle aree di servizio può permettere la generazione automatica di ordini in modo più efficiente; un altro esempio può essere dato dall'integrazione con informazioni meteo e di traffico, in modo da ripianificare dinamicamente le consegne su strade più convenienti.

Per quanto riguarda le imprese e le autorità che gestiscono le infrastrutture stradali, come ad esempio le società autostradali, queste da sempre sono orientate all'informazione in tempo reale (traffico, meteo, tariffazione automatica ecc...). Questo è il motivo per il quale la loro capacità attuale di acquisire e gestire informazione in tempo reale è molto elevata ed è basata su soluzioni tecnologicamente molto avanzate. D'altro canto, paradossalmente, queste imprese, a meno di tratti stradali molto circostanziati come ad esempio alcuni tunnel alpini considerati ad alto rischio, non conoscono affatto in tempo reale il traffico di merci pericolose in atto sulle infrastrutture da loro gestite e, in molti casi, non conoscono neppure una stima dei flussi veicolari storici ad esempio mediati su un anno. Questo è dovuto a diverse ragioni, due delle quali sono riportate di seguito. Innanzitutto, i veicoli sono sempre più efficacemente tracciati singolarmente sull'infrastruttura stradale attraverso soluzioni tecnologiche diverse, la principale delle quali è associata al pagamento dei pedaggi che permette di associare ciascuna targa veicolare ad un ingresso e ad un'uscita. Sfortunatamente la targa del veicolo che è presente ad esempio sulla motrice di una autobotte non ha una corrispondenza diretta con la merce pericolosa trasportata e con la relativa targa arancione definita dall'ADR2005, poiché quest'ultima targa (e la merce pericolosa trasportata, e così pure il semirimorchio stesso) può cambiare da un giorno all'altro, al variare delle consegne da effettuare. In secondo luogo, vi è una scarsa conoscenza per quanto riguarda le matrici origine destinazione delle merci pericolose, in quanto queste sono generalmente possedute da ciascuna specifica impresa di logistica e trasporto. Il problema è ancor più sentito a livello internazionale, tutte le volte che viene richiesto un trasporto associato ad uno o più

attraversamenti di frontiera e per i quali accordi internazionali hanno ridotto gli obblighi doganali. In ogni caso, le imprese e le autorità che gestiscono infrastrutture stradali sono sempre più interessate ad acquisire informazione in tempo reale sul trasporto di merci pericolose, a supporto delle seguenti decisioni:

- ottimizzare la distribuzione sull'infrastruttura di mezzi e personale adeguato nei tratti stradali che sono maggiormente a rischio per il trasporto di merci pericolose, ed, in caso di incidente di un trasporto di merce pericolosa, equipaggiare il personale di soccorso con attrezzatura adeguata alla specifica merce trasportata;
- minimizzare il rischio di incidente, in particolare su tratti con esposti vulnerabili critici, controllando il flusso veicolare di merce pericolosa e non su tali tratti.

Infine, le autorità pubbliche territoriali sono interessate a tutelare il rischio che può essere generato sul territorio di competenza dal trasporto di tali merci. Le esigenze delle autorità pubbliche per quanto riguarda informazione in tempo reale delle merci pericolose trasportate sono riassumibili nei seguenti punti.

Vi è un bisogno delle forze di protezione civile di conoscere in tempo reale il tipo di merce pericolosa trasportata tutte le volte che vi è un incidente per tale trasporto in modo da reagire adeguatamente ed efficacemente anche per quanto riguarda la tutela della salute della popolazione che vive nei pressi del sito dell'incidente.

Vi è bisogno di mantenere costantemente alimentata una base di dati storica sui trasporti di merce pericolosa sul territorio di competenza che permetta di definire informazioni territoriali importanti quali matrici origine destinazione, mappe di rischio, flussi medi ecc... Tale informazione, che non è generalmente disponibile dalle autorità pubbliche territoriali, permetterebbe di migliorare la gestione dell'infrastruttura e del territorio ad esempio evidenziando le criticità del territorio, pianificando in modo migliore alternative modali di trasporto ecc...

Infine vi è bisogno di definire in modo dettagliato il rischio sul territorio derivante da tale trasporto, similmente ad altri rischi di origine industriale e naturale similmente a quanto definito nella letteratura recente (Contini et al., 2000; Zhang et al., 2000; Fabiano et al., 2002), possibilmente in un contesto in tempo reale (Giglio et al., 2004). Tali aspetti sono esposti dettagliatamente nella sezione seguente.

3.0 IL RISCHIO DA TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE

Nella letteratura relativa alla valutazione del rischio da trasporto di merci pericolose, le rotte per il trasporto sono generalmente considerate come una sorgente di rischio di tipo lineare, costituita da un gran numero di sorgenti puntuali di rischio. Un'assunzione di tale genere, tuttavia, aumenta notevolmente l'onere computazionale necessario per valutare il rischio complessivo, in quanto per ciascuna sorgente puntuale (teoricamente infinite) dovrebbe essere effettuata una dettagliata analisi di rischio, analoga a quelle che vengono sviluppate in relazione a sorgenti fisse quali gli impianti industriali. Per tale ragione, vengono spesso adottate procedure semplificate per la valutazione di tale tipologia di rischio.

Nel trasporto di merci pericolose su strada, può essere adottata una delle due seguenti definizioni di rischio.

- Il rischio è definito come una funzione (frequentemente un prodotto) della frequenza attesa di un evento pericoloso e della sua relativa magnitudo, in termini di numero di persone e proprietà coinvolte, e di porzione dell'ambiente danneggiato; questa definizione di rischio è tipica del contesto industriale.
- Il rischio di un insieme di elementi territoriali che possono essere danneggiati da un evento naturale catastrofico può invece essere valutato come una funzione (nello specifico, un prodotto) del valore atteso della pericolosità, del valore degli elementi (persone, proprietà, ambiente) soggetti al rischio, e la cosiddetta vulnerabilità, ovvero la capacità di un elemento di resistere ad un evento catastrofico (UNESCO, 1972).

Entrambe le definizioni comprendono un termine legato alla probabilità del rischio, nonché un termine legato all'entità degli effetti sugli elementi che sono prossimi (spazialmente e temporalmente) all'evento. Entrambe le definizioni possono anche essere considerate adeguate per la definizione del rischio legato al trasporto di materie pericolose, poiché tengono esplicitamente in considerazione che la probabilità di un evento e la sua

magnitudo sono spazio/tempovarianti, poiché esse dipendono da molti fattori esterni, alcuni dei quali sono appunto spazio/tempovarianti.

Anche gli approcci che vengono usualmente proposti nella letteratura relativa alla definizione del rischio da trasporto confermano queste considerazioni, ed infatti l'analisi di rischio è una procedura che generalmente viene suddivisa in tre differenti fasi:

1. determinare la probabilità di un incidente in cui si verifichi un rilascio di merci pericolose;
2. stimare il livello di potenziale esposizione, data la natura dell'evento considerato;
3. stimare la magnitudo delle conseguenze (numero di morti e/o feriti, entità dei danni alle proprietà e all'ambiente naturale e antropico), dato il livello di esposizione.

Nelle differenti fasi di valutazione vengono calcolate probabilità e distribuzioni condizionali delle diverse grandezze che entrano in gioco. Tuttavia nella pratica, a causa della mancanza o della scarsa qualità delle informazioni disponibili, le tre fasi non sono completamente sviluppate; ad esempio, può essere adottato un approccio legato al peggior caso possibile, in cui viene considerata la popolazione che globalmente può essere coinvolta (Zhang et al., 2000).

Quindi, definendo una generica rete di trasporto $G(N, A)$, in cui N rappresenta l'insieme dei nodi ed A rappresenta l'insieme degli archi, ed indicando con l il generico arco appartenente all'insieme A , il rischio totale associato al trasporto di merci pericolose sul tratto stradale l può essere espresso come:

$$R_l = S_l P_l N_l \quad (1)$$

dove:

- R_l è il rischio totale sull'arco l dovuto al trasporto di merci pericolose;
- S_l è il numero di transiti sull'arco l di mezzi che trasportano merci pericolose nell'intervallo di tempo cui fa riferimento l'analisi di rischio;
- P_l la probabilità di un incidente con rilascio di materiale pericoloso per un singolo transito sull'arco l ;
- N_l il numero totale di persone che subiranno gli effetti negativi di un incidente con rilascio sull'arco l .

La determinazione del numero di persone potenzialmente coinvolte nell'incidente è generalmente una procedura a due passi:

1. inizialmente viene valutata l'area di impatto di un possibile incidente;
2. quindi viene determinato il numero di persone che risiedono in tale area di impatto.

Facendo riferimento su una stima *a priori* dell'area di impatto di un possibile incidente, se gli scopi che ci si prefiggono sono ad esempio quelli di determinare le rotte che devono essere seguite dai mezzi che trasportano merci pericolose, non è adeguato adottare un approccio basato su una valutazione dettagliata del rischio per ciascuna specifica localizzazione di incidente, poiché tutti gli infiniti punti che costituiscono un tratto stradale potrebbero, in linea generale, essere possibili localizzazioni.

Un artificio comune è quello di considerare una banda (detta anche *buffer*) di larghezza fissata lungo l'arco che rappresenta il tratto stradale e, sulla base di un approccio di tipo on/off, considerare come coinvolte nell'incidente tutte le persone che risiedono all'interno della banda, e non coinvolte tutte quelle che risiedono all'esterno della banda stessa (ReVelle et al., 1991). Tuttavia, un approccio di questo tipo non tiene in considerazione due importanti aspetti, quali l'effetto della distanza, nonché della direzione e della velocità del vento sull'entità dell'impatto dell'incidente (Zhang et al., 2000).

Entrambi questi aspetti negativi possono essere evitati tramite lo sviluppo e l'implementazione di un approccio analogo a quello proposto da Zhang et al. (2000). Gli autori, traendo spunto dal lavoro proposto da Ange et al. nel 1989, hanno stimato la concentrazione di una sostanza volatile in ogni punto interessato dalla sorgente di inquinamento (ovvero, i punti del tratto stradale). Essi hanno adottato, quale modello di

dispersione in atmosfera, il modello a “campana” Gaussiana, che assume che le condizioni atmosferiche siano omogenee nell’area di studio e che il terreno sia piatto.

Se è disponibile l’informazione relativa al monitoraggio o alla previsione di una struttura precipitativa, può essere adottato l’approccio di Akgün et al. (2005). Gli autori considerano la possibilità che, durante l’attraversamento di un arco della rete stradale, un mezzo che trasporta merci pericolose può incrociare una struttura di tale tipologia, con l’assunzione che questa si muova a velocità costante lungo un percorso lineare.

In alternativa, può essere direttamente valutata la media della popolazione esposta al rischio per un dato raggio di influenza e per un dato arco stradale, come è stato fatto nei lavori di Saccomanno e Chan (1985), o di Erkut e Verter (1995). Come è stato descritto in Frank et al. (2000), questo approccio è basato sull’assunzione che la probabilità di un incidente sia costante lungo l’intero arco considerato. Quindi, lo sviluppo dell’arco viene equamente coperto da una serie di cerchi di raggio λ , la cui lunghezza dipende dal tipo di merce pericolosa e di caratteristiche dell’incidente considerate. La media statistica delle persone che vivono all’interno di ciascun circolo rappresenta la popolazione media soggetta al rischio.

Un altro approccio interessante è quello di Carotenuto et al. (2005), i quali considerano ciascun arco stradale partizionato in sequenze di segmenti di lunghezza unitaria, ed assumono che il rischio σ_x^y legato al transito sul segmento di lunghezza unitaria x di un arco per la popolazione che vive nella prossimità di un altro segmento di lunghezza unitaria y può essere espresso come:

$$\sigma_x^y = P_x \cdot pop_y \cdot e^{-\alpha[d(x,y)]^2} \quad (2)$$

dove:

P_x è la probabilità che avvenga un incidente sul tratto di lunghezza unitaria x ;

pop_y è la popolazione che vive in prossimità del segmento di lunghezza unitaria y ;

$d(x,y)$ è la distanza euclidea tra i centri dei due segmenti di lunghezza unitaria x e y ;

α è un fattore di impatto, dipendente dalla particolare merce pericolosa considerata.

Il rischio σ_x associato al segmento di lunghezza unitaria per la popolazione che vive in prossimità dell’arco considerato può essere valutato tramite la relazione:

$$\sigma_x = P_x \sum_{y \in S} pop_y \cdot e^{-\alpha[d(x,y)]^2} \quad (3)$$

dove S è l’insieme dei segmenti di lunghezza unitaria che compongono l’intera rete considerata.

A questo punto il rischio associato all’arco può essere calcolato come la somma del rischio associato a ciascun segmento di lunghezza unitaria che compone l’arco stesso; sia h un generico arco, sia x il generico segmento di lunghezza unitaria, con $x=1, \dots, q_h$, dove q_h è il numero di segmenti che compongono l’arco h ; il rischio r_h associato all’arco può essere espresso dalla seguente relazione:

$$r_h = \sum_{x=1}^{q_h} \sigma_x \quad (4)$$

Si noti che quella proposta è un’approssimazione, in quanto una valutazione precisa di tale rischio richiederebbe di moltiplicare la probabilità di incidente su uno specifico segmento dell’arco per la probabilità di non-incidente sui segmenti precedenti a quello considerato; tuttavia gli autori sostengono che, poiché la probabilità associata a questa tipologia di incidente è molto bassa, la probabilità di non-incidente sui rimanenti segmenti sia molto prossima all’unità e che quindi questo termine possa essere tralasciato.

Tuttavia, non è ancora stata definita la probabilità di un incidente per unità di lunghezza (che serve per valutare il rischio associato ai segmenti di lunghezza unitaria). La scarsa frequenza di tale tipologia di incidenti rende difficoltosa una valutazione empirica delle probabilità di incidenti che coinvolgono il rilascio

di sostanze pericolose. Per tale motivo esse vengono talvolta stimate sulla base delle informazioni relative agli incidenti che coinvolgono mezzi pesanti generici (Zhang et al., 2000).

Nel lavoro di Fabiano et al. (2002) viene data grande enfasi alla valutazione della frequenza attesa di un incidente, aspetto che è alla base della definizione del rischio. Viene introdotta la frequenza attesa di incidente per veicolo γ_x , che può essere espressa tramite la seguente relazione:

$$\gamma_x = \gamma_0 \prod_{j=1}^J h_{x,j} \quad (5)$$

dove γ_0 è la frequenza di base (incidenti km⁻¹ per veicolo), e $h_{x,j}$ sono fattori di amplificazione o mitigazione locali.

Nello specifico, nel lavoro di Fabiano et al. (2002) vengono proposti $J=6$ fattori di amplificazione/mitigazione, di cui quattro sono direttamente collegati alle caratteristiche della strada (tortuosità, pendenza, numero di corsie, presenza di ponti o tunnel), mentre gli altri fanno riferimento alle condizioni meteorologiche e al flusso veicolare. Questi ultimi due parametri assumono grande importanza nel caso in cui sia possibile monitorarli in tempo reale o anche predirne l'evoluzione nel tempo. Ovviamente, per definire quali valori debbano essere assegnati a tali fattori, è necessario effettuare una fase di calibrazione sulla base di dati relativi allo storico degli incidenti effettivamente occorsi, pur tenendo sempre presente che la numerosità degli incidenti che coinvolgono mezzi che trasportano merci pericolose e che quindi può essere necessario fare riferimento a mezzi pesanti che trasportano merci generiche. Gli autori hanno proposto una calibrazione per la rete autostradale relativa all'area metropolitana di Genova; tali valori potrebbero essere utilizzati per estrapolare i fattori di amplificazione/mitigazione anche per altre reti stradali, per lo meno come primo livello di analisi in attesa di poter effettuare un'adeguata campagna di analisi.

Inoltre, può essere opportuno aggiungere altri due fattori, e più precisamente:

$h_{x,7}$ presenza di interruzioni o, più in generale, di diminuzioni nel livello di servizio, come già precedentemente introdotto in Atzei et al. (2004);

$h_{i,8}$ velocità media dei veicoli sul segmento di strada considerato; questa informazione può essere sia di tipo statico (valore medio su un orizzonte temporale predefinito), sia di tipo dinamico (velocità media dei veicoli che transitano sul segmento considerato nell'intervallo di campionamento).

Ovviamente in questi due casi rimane aperto il problema della determinazione dei valori da assegnare ai parametri.

La frequenza attesa per unità di lunghezza f_x può a questo punto essere ottenuta moltiplicando la frequenza attesa per veicolo γ_x per il numero di veicoli n_i (su orizzonte temporale definito) che attraversano il segmento di strada:

$$f_x = \gamma_x n_x \quad (6)$$

La probabilità di occorrenza dell'incidente sul segmento considerato può quindi essere facilmente dedotta e utilizzata per definire il rischio associato al segmento stesso tramite l'equazione (4), e in secondo luogo associato all'arco nel suo complesso.

4.0 DEFINIZIONE DELLA ARCHITETTURA DEL SISTEMA INFORMATIVO

L'architettura del sistema informativo distribuito a supporto della messa in sicurezza delle infrastrutture di trasporto consta di un sistema di identificazione e di monitoraggio delle merci pericolose, di un database comune e di un interfaccia utente web-gis.

Il sistema di identificazione e monitoraggio dati prevede due differenti metodologie di acquisizione dei dati relativi alle risorse di trasporto in movimento sulle infrastrutture. La prima metodologia si basa

sull'installazione di opportuni dispositivi di misura/trasmissione sui veicoli che trasportano merci pericolose, mentre la seconda metodologia è relativa all'utilizzo di postazioni fisse di identificazione di veicoli che trasportano merci pericolose in prossimità dei varchi autostradali. Entrambe le metodologie prevedono una trasmissione di informazioni verso la base di dati comune presente nel Centro di Controllo comune.

4.1 Sistema di monitoraggio

A bordo degli automezzi, il sistema di monitoraggio è composto da due sottoinsiemi allocati in differenti posizioni:

- nel rimorchio sono presenti due tipologie di dispositivi: la testata elettronica e un dispositivo detto “concentratore” ad essa connessa.
- sulla motrice è presente un dispositivo “in-cabin” dotato di interfaccia utente per il ricevimento informazioni e per eventuale input manuale da parte dell'autista.

La testata elettronica è un misuratore di flusso corredato di una propria intelligenza che attraverso un protocollo particolare di comunicazione controlla costantemente lo stato degli eventi e dei processi a bordo dei mezzi. Attraverso la porta seriale il concentratore dialoga con la testata elettronica e rileva da essa automaticamente tutte le informazioni relative agli eventi.

Nel caso del trasporto di carburanti per autoveicoli (benzina e gasolio) le informazioni specifiche da telecontrollare sono quelle relative a eventi di “carico carburante” presso i depositi e all'evento di “erogazione carburante” presso i punti vendita serviti. Nel caso di trasporto di bitume, invece, le informazioni specifiche da telecontrollare sono la temperatura e il peso del carico, misurati attraverso opportuni sensori installati all'interno dell'autobotte. Tutte queste informazioni rappresentano lo stato del carico e dopo essere rilevate vengono trasmesse in tempo reale dal concentratore attraverso una connessione GPRS al database server presente all'interno del centro di controllo comune. Essendo il concentratore dotato di un proprio orologio interno e di un sensore GPS, l'informazione trasmessa al database sarà certificata nel tempo e nello spazio, attraverso l'indicazione della data e ora di rilevazione e trasmissione e della posizione georeferenziata del mezzo. I due sottosistemi presenti sul cargo e sul rimorchio sono collegati tramite un cavo a spirale, caratteristico dei veicoli autoarticolati e di facile connessione, che consente il collegamento per lo scambio dei dati e per l'alimentazione. Entrambi i sistemi sono indipendenti per la comunicazione con il server centrale, perché tutti e due gestiscono un modem GSM/GPRS. Il “concentratore” è interfacciato anche con il dispositivo “in-cabin” messo a disposizione dell'autista, con il CAN bus (CAN: Controlled Area Network), con il cronotachigrafo digitale e con altri sensori come le sonde antistraboccamento o dispositivi di crash e ribaltamento. Il dispositivo “in-cabin” consente una interazione diretta con l'autista e, in particolare, consente l'invio di informazioni relative allo stato del traffico, allo stato della sede stradale, allo stato meteorologico, ecc. Attraverso il CAN bus è possibile monitorare informazioni relative al funzionamento operativo del veicolo quali, ad esempio, utilizzo dei freni e consumo medio di carburante. Il cronotachigrafo digitale presente per legge su tutti i veicoli che trasportano merci pericolose fornisce informazioni relative al tempo di guida, al chilometraggio percorso e alle velocità di viaggio.

4.2 Sistema di identificazione

La soluzione tecnologica basata su postazioni fisse di identificazione fa uso di una serie di telecamere digitali ad alta definizione in grado di riconoscere la targa arancione che identifica in maniera univoca la merce pericolosa trasportata. Tale targa è obbligatoria per legge e deve essere posta sul davanti, sul retro o a lato del veicolo che trasporta la merce pericolosa. La telecamera digitale può essere posta in prossimità di un varco autostradale in modo che l'acquisizione avvenga nel momento in cui il veicolo è fermo per il ritiro del biglietto di viaggio e per il pagamento del pedaggio. Il riconoscimento della targa si basa su un algoritmo di identificazione di immagini a 5 passi (acquisizione dell'immagine, correzione della distorsione di prospettiva, filtraggio dell'immagine, riconoscimento della targa, interpretazione dei numeri) che risiede su un server posto in prossimità del varco autostradale. Una volta identificata l'informazione, essa può essere trasmessa attraverso internet al database server presente nel centro di controllo comune. Quest'ultima soluzione tecnologica è in grado di fornire un set di informazioni limitato ma risulta molto utile per determinare il passaggio attraverso punti sensibili dell'infrastruttura stradale di mezzi che trasportano merci pericolose e che non sono stati allestiti per il telecontrollo.

4.3 Database

La base di dati comune risiede nel database server ed è costituita da tre database separati, database di telecontrollo, database storico e database anagrafico, in grado di dialogare con l'interfaccia utente web-GIS, residente sul web server. Il database di telecontrollo è finalizzato alla memorizzazione di tutte le informazioni che arrivano in tempo reale dal sistema di identificazione e monitoraggio dati, quindi sia dalle risorse di trasporto telecontrollate che dalle postazioni fisse di identificazione. Il database storico contiene tutti i dati di telecontrollo arrivati al centro di controllo comune nel passato in modo che le informazioni che risiedono all'interno del database di telecontrollo sia costantemente aggiornato, rendendo affidabili in termini di tempo tutti i sistemi di interrogazione dei dati attraverso l'interfaccia utente web-GIS. Il terzo database presente nella base di dati comune è il database anagrafico. Il database anagrafico contiene tutte le informazioni relative agli "oggetti" che compongono il sistema. In particolare, per quanto riguarda i veicoli che trasportano merci pericolose verranno innanzitutto memorizzate informazioni anagrafiche "classiche" come targa, proprietà, numeri di telaio ecc. Per quanto riguarda le postazioni fisse di identificazione, nel database anagrafico saranno presenti i dati relativi alla localizzazione delle telecamere digitali e informazioni accessorie ad uso gestionale. Inoltre, nel database anagrafico verranno memorizzate anche tutte le informazioni relative alle infrastrutture (tipologia di strada, lunghezza, coefficiente di tortuosità, ecc.) e ai livelli di rischio ad esse associabili.

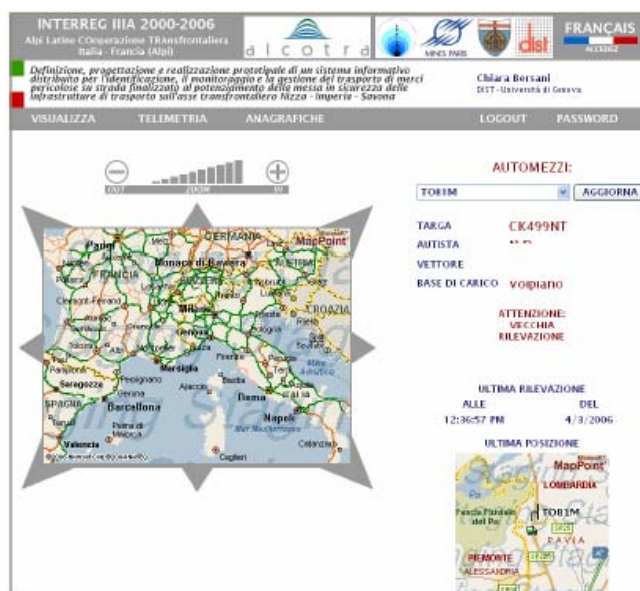


Figura. Interfaccia Web-Gis.

4.5 Interfaccia WEB-GIS

I dati memorizzati all'interno della base di dati comune sono resi accessibili attraverso un portale web. Attraverso il portale è possibile visualizzare le informazioni provenienti in tempo reale dai veicoli telecontrollati e le informazioni relative al volume di traffico di veicoli che trasportano merci pericolose localizzato ai varchi di accesso alla rete autostradale. Inoltre, sul portale, due zone saranno dedicate rispettivamente alla visualizzazione di dati storici e alla visualizzazione delle informazioni anagrafiche relative ai veicoli allestiti per il telecontrollo, ai varchi autostradali allestiti con telecamere digitali di identificazione, e alle infrastrutture coinvolte nel monitoraggio di merci pericolose.

La visualizzazione delle informazioni in tempo reale fa uso di una cartografia per visualizzare la posizione corrente dei veicoli telecontrollati e la posizione dei varchi autostradali attrezzati con telecamere digitali per il riconoscimento di targhe di merci pericolose. La cartografia scelta, Navteq, non risiede sul web server ma viene acquisita in tempo reale dall'interfaccia utente web-GIS attraverso il "Mappoint web service" fornito da Microsoft. La selezione sul portale di telecontrollo di un particolare veicolo consente la visualizzazione di tutte le informazioni statiche (in particolare, i dati anagrafici) e dinamiche come la posizione e il tipo e lo stato del carico ad esso associate. Una specifica parte del sito consente la visualizzazione delle informazioni

storiche. Per alcuni parametri di funzionamento, sarà possibile visualizzare dei valori aggregati su intervalli di tempo predefiniti. Nei casi in cui l'informazione storica è un'informazione puntuale viene fornita, su mappa, la posizione in cui il veicolo telecontrollato si trovava nel momento in cui l'informazione storica è stata rilevata.

La parte di portale web-GIS dedicato alla visualizzazione delle informazioni in tempo reale riceve dati dal database server e dialoga in maniera bidirezionale con il "Mappoint web service" per richiedere/ricevere le mappe necessarie.

5.0 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il sistema proposto per l'identificazione, il monitoraggio e la gestione delle merci pericolose su strada fa uso di due differenti tecnologie di acquisizione dei dati. La soluzione tecnologica basata su risorse di trasporto telecontrollate è la più flessibile in quanto consente di monitorare costantemente (in tempo reale) la flotta di veicoli che trasportano merci pericolose, come descritto nel precedente paragrafo. Questa soluzione richiede però un investimento proporzionale al numero di veicoli che si vogliono telecontrollare sia e inoltre presenta una gestione operativa non banale in quanto alcuni interventi di manutenzione devono essere fatti direttamente sul veicolo. D'altra parte, la seconda tecnologia presentata, che ha come punti di forza proprio il fatto di richiedere costi di investimento minori, presenta potenzialità limitate se paragonate all'altra tecnologia. L'identificazione attraverso postazioni fisse è infatti in grado di monitorare il flusso di merci pericolose attraverso determinati punti sensibili della rete (dato comunque estremamente importante) ma non quello di riconoscere il singolo veicolo in transito (in termini, ad esempio, di riconoscimento dell'autista alla guida). In ogni caso, una soluzione "mista", che fa uso cioè di entrambe le tecnologie, come quella presentata in questo articolo, appare la più conveniente sia in termini di costi che in termini di prestazioni. Inoltre, i dati provenienti dalle due metodologie di acquisizione dei dati possono essere opportunamente incrociati allo scopo di validare l'informazione acquisita.

All'interno del sistema proposto è in corso di realizzazione un sistema di supporto alle decisioni finalizzato all'ottimizzazione delle infrastrutture sulla base delle informazioni sul traffico di merci pericolose provenienti in tempo reale dal sistema di identificazione e monitoraggio. L'ottimizzazione attuata da tale sistema di supporto alle decisioni non si basa esclusivamente su aspetti legati al traffico, finalizzati principalmente alla minimizzazione del numero complessivo di veicoli sulle infrastrutture considerate, ma anche sugli aspetti legati al rischio derivante dal trasporto di merci pericolose. La metodologia utilizzata terrà infatti conto del livello di rischio dinamico associato ad ogni infrastruttura che tiene conto, come descritto nella parte conclusiva del paragrafo 3, di aspetti variabili nel tempo quali le condizioni meteorologiche e lo stato dell'asfalto. Tutto questo con l'obiettivo primario di minimizzare il disagio dovuto al transito di materiale pericoloso. E' importante osservare infine come i parametri dell'ottimizzazione (ad esempio, i pesi da associare ai vari fattori di amplificazione/mitigazione del rischio) e i risultati della stessa saranno accessibili via web in modo da ottenere, in remoto, i risultati di una specifica ottimizzazione.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro descrive parte dell'attività di ricerca sviluppata nell'ambito del progetto programmato N°176 (Definizione, progettazione e realizzazione prototipale di un sistema informativo distribuito per l'identificazione, il monitoraggio e la gestione del trasporto di merci pericolose) finanziato dal Programma d'Iniziativa Comunitaria Interreg-Alcotra III. Il lavoro è inoltre stato possibile grazie alla collaborazione e alla esperienza della società Intermod S.p.A. (Gruppo Eni), in particolare a Fabio Atzei, Gianni Merella e Domenico Pizzorni. Si ringraziano inoltre le società G&A del Gruppo Gavio e il Gruppo Bertani per la messa a disposizione dei mezzi. Infine si ringrazia la società autostradale francese ESCOTA per la messa a disposizione delle infrastrutture necessarie ad effettuare il monitoraggio su strada.

RIFERIMENTI

1. Ang, A., Briscoe, J. et al., 1989. Development of a systems risk methodology for single and multimodal transportation systems. Final Report, Office of University Research, US DOT, Washington, DC.
2. Akgün, V., Parekh, A., Batta, R., Rump, C.M., in press, available online at www.sciencedirect.com. Routing of a hazmat truck in the presence of weather systems. Computers & operations research.

3. Atzei, F., Giglio, D., Minciardi, R., Paolucci, M., Pizzorni, D., Sacile, R., Trasforini, E., Vicini, G., 2004. Intradamento dinamico basato sul rischio nel trasporto di merci pericolose su strada, Atti del Convegno VGR 2004, Pisa.
4. Baita F., W. Ukovich, R. Pesenti and D. Favaretto (1998). Dynamic routing-and-inventory problems: a review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(8), 585-598.
5. Beroggi G.E.G., A real-time routing model for hazardous materials, *European Journal of Operational Research* 75 (3), 508-520, 1994.
6. Beroggi G.E.G and W.A. Wallace, Routing of hazardous materials. In "Operational Risk Management", Kluwer Academic Publishers, 1998.
7. Carotenuto, P., Giordani, S., Ricciarelli, S., in press, available online at www.sciencedirect.com. Finding minimum and equitable risk routes for hazmat shipments. *Computers & operations research*.
8. Casazza R., Olampi S., Napoli A., A sensor based decision support system for the hazmat transport risk, UDMS2006, 2006
9. Christofides, N., A. Mingozi, and P. Toth (1981). Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem, Based on Spanning Tree and Shortest Path Relaxations. *Mathematical Programming*, 20 (3), 255-282.
10. Contini S., F. Bellezza, M. D. Christou and C. Kirchsteiger (2000). The use of geographic information systems in major accident risk assessment and management. *J. Hazardous Materials* 78, 223-245.
11. Ellena L., Guarnieri F., Olampi S., Technological risks management: automatic detection and identification of hazardous material transportation trucks, library.witpress.com, 2004
12. Erkut, E., Verter, V., 1995. A framework for hazardous materials transport risk assessment. *Risk Analysis* 15, 589-601.
13. Erkut, E. and V. Verter, V., Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations Research* 46 (5), 625-642, 1998.
14. Fabiano B., F. Currò, E. Palazzi and R. Pastorino (2002). A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation, *Journal of Hazardous Materials*, 93, 1-15.
15. Frank, W.C., Thill, J-C, Batta R., 2000. Spatial decision support system for hazardous material truck routing, *Transportation research Part C*, Vol. 8, pp. 337-359.
16. Giglio D., R. Minciardi, R. Rudari, A. Tomasoni, D. Pizzorni, R. Sacile and E. Trasforini (2004) Towards A Decision Support System for Real Time Risk Assessment of Hazardous Material Transport on Road". In Pahl-Wostl, C., Schmidt, S. and Jakeman, T. (eds) *iEMSs 2004 International Congress: "Complexity and Integrated Resources Management"*. International Environmental Modelling and Software Society, Osnabrueck, Germany.
17. ReVelle, C., Cohon, J., Shobrys, D., 1991. Simultaneous siting and routing in the disposal of hazardous wastes. *Transportation Science* 25, 138-145.
18. Saccomanno, F.F., Chan, A.Y.-W., 1985. Economic evaluation of routing strategies for hazardous road shipments. *Transportation Research Record* 1020, 12-18.
19. Toth, P. and D. Vigo (2002), Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123 (1-3), 487-512.
20. UNESCO, 1972. Report of consultative meeting of experts on the statistical study of natural hazard and their consequences, Document SC/WS/500.
21. Zhang, J. Hodgson and E. Erkut (2000). Using GIS to assess the risks of hazardous materials transport in networks. *European Journal of Operational Research*, 121, 316-329.
22. Zografos K.G. and K. N. Androustopoulos, A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, *European Journal of Operational Research* 152, 507-519, 2004.