

# INSTRADAMENTO DINAMICO BASATO SUL RISCHIO NEL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE SU STRADA

F.Atzei\*, D. Giglio<sup>o</sup>, R.Minciardi<sup>o,§</sup>, M. Paolucci<sup>o,§</sup>, D. Pizzorni\*, R. Sacile<sup>o,§</sup>, E. Trasforini<sup>o,§</sup>, G.Vicini<sup>§</sup>

<sup>o</sup>DIST – Dipartimento di Informatica Sistemistica e Telematica, Università di Genova

<sup>§</sup>CIMA- Centro Interuniversitario per il Monitoraggio Ambientale, Savona

\*Intermode S.p.A, Genova

<sup>§</sup>FEEM Fondazione ENI Enrico Mattei

[roberto.sacile@unige.it](mailto:roberto.sacile@unige.it)

## SOMMARIO

Diverse tecnologie telematiche ed informatiche emergenti permettono ai giorni nostri di definire un nuovo concetto di rischio causato dal trasporto su strada di merci pericolose, che può essere messo in relazione più stretta a fattori spazio e tempo varianti. Poiché infatti esistono molti fattori continuamente variabili (per esempio le condizioni meteorologiche, della strada, del conducente, delle merci pericolose stesse) che lo condizionano, il rischio da trasporto di merci pericolose è per definizione dinamico in alcuni sui aspetti, motivo per cui le definizioni classiche di pericolosità e rischio naturale ed industriale risultano essere in parte adeguate. Inoltre è importante sottolineare che, se i sistemi per la gestione in tempo reale dei viaggi e degli instradamenti di merci pericolose possono essere orientati a minimizzare il rischio del trasporto su strada, d'altro canto, con il loro supporto alle decisioni, essi sono i principali attori che influenzano il valore corrente di rischio su un territorio. Questi aspetti sono discussi in questo lavoro, in cui viene definita una proposta di sistema di supporto alle decisioni (SSD) che li integra tra loro, e in cui vengono descritti i passi che devono portare al suo sviluppo. Nonostante il SSD sia ad uno stadio preliminare di sviluppo, viene presentata una dimostrazione introduttiva riguardante la valutazione dinamica del rischio su uno specifico territorio, la provincia di Savona, caratterizzato da un traffico di merci pericolose piuttosto rilevante su una infrastruttura stradale che, per diversi tratti, è molto prossima ad elementi vulnerabili, quali ad esempio insediamenti civili ed industriali.

## 1. PREMESSA

Con riferimento ad un progetto aziendale interno ad Intermode denominato "PRIMA" (PREvenzione Incidenti e Monitoraggio Ambientale), ad un accordo di collaborazione e ricerca tra Università di Genova, Intermode S.p.A. e FEEM, ed in parziale riferimento alla validazione dei prototipi proposti all'interno del progetto SIMAGE [1], ci si prefigge di migliorare il servizio di pianificazione del trasporto di merci pericolose su strada attraverso l'integrazione di metodologie e tecnologie informatiche, sistemistiche e telematiche che possono essere schematizzate nei seguenti punti:

1. Installazione, su ogni mezzo, di un sistema satellitare per la conoscenza del posizionamento e di un sistema di rilevazione in continuo di parametri ambientali e fornitura dei dati ad un soggetto interessato al monitoraggio.
2. Definizione in tempo reale della pericolosità e del rischio indotto su esposti vulnerabili relativi ad ogni singola tratta stradale, attraverso l'acquisizione di parametri relativi al flusso veicolare, ambientali, stradali, sociali ecc... Questa acquisizione sfrutterà sia dati ottenibili da stazioni meteo esistenti, sia da stazioni fisse dislocabili in prossimità dei tratti stradali, sia da stazioni mobili coincidenti con i vettori di trasporto.
3. Utilizzo delle risorse economiche derivanti dal servizio per premiare i comportamenti diligenti e sicuri degli autisti, sulla base di formule che mettano in relazione il premio annuale erogabile alla incidentalità.
4. Utilizzo delle tecnologie applicate per l'instradamento dinamico dei mezzi (routing dinamico).
5. Monitoraggio in tempo reale del trasporto delle merci pericolose (prevenzione e fase di emergenza).
6. Fornitura di un servizio di tracciamento della merce per il cliente.

I vantaggi legati all'adozione dei precedenti punti saranno la conoscenza puntuale della posizione di tutti i carichi pericolosi e del loro stato, la possibilità di stimare il rischio in tempo reale del trasporto di merci pericolose, e predirlo a breve medio termine con maggiore affidabilità, il miglioramento della conoscenza sullo stato del traffico (code, rallentamenti, ecc.), la disponibilità di un sistema di monitoraggio dinamico, versatile ed esteso, il monitoraggio (meteo ed ambiente) continuo di una grossa parte della viabilità

nazionale, il coinvolgimento degli autisti nella produzione di informazioni utili e la sensibilizzazione ed incentivazione dei conducenti ad un comportamento sicuro. Ciò dovrebbe portare ad una ulteriore diminuzione degli incidenti nel trasporto delle merci pericolose e ad una utile integrazione delle politiche societarie. In questo intervento vengono mostrati la metodologia ed i primi risultati ottenuti.

## 2. INTRODUZIONE

In Italia circa l'80% del traffico su strada è relativo alla consegna di merci, e l'andamento europeo complessivo sembra predire un aumento del 30% entro il 2010. Circa il 18% di questo è rappresentato dal trasporto di merci pericolose. Questi fatti inducono a prestare una particolare attenzione alla definizione del rischio causato dal trasporto di merci pericolose, in particolare per ciò che riguarda l'esposizione della popolazione ed il possibile impatto sull'ambiente.

Gli approcci convenzionali generalmente definiscono questo rischio come un rischio industriale, con componenti deterministiche statiche o realizzate statisticamente caratterizzanti la pericolosità del trasporto. Poiché esistono diversi fattori tempo e spazio varianti (per esempio lo stato meteorologico, della strada, del conducente e della stessa merce pericolosa trasportata) che lo condizionano, il rischio nel trasporto di merci pericolose è intrinsecamente dinamico, così che le definizioni classiche di rischio naturale ed industriale risultano essere adeguate solo in parte.

In questo lavoro viene introdotto e discusso un nuovo approccio per modellare e valutare adeguatamente il rischio di trasporto di merci pericolose su strada, in particolare facendo riferimento al trasporto di prodotti petroliferi (classe 3 della classificazione di merci pericolose fatta dal Federal Motor Carrier Safety Administration, US [2]) tramite autobotti. In particolare, viene discussa una proposta di valutazione dinamica della possibilità che certi eventi possano avvenire (in altre parole la valutazione della pericolosità) sulle infrastrutture stradali di un sistema territoriale. Inoltre, vengono presentate le attività preliminari che dovranno condurre alla definizione di un sistema di supporto alle decisioni (SSD) per la valutazione in tempo reale dell'impatto di tale pericolo su persone, beni ed ambiente (in altre parole, la valutazione del rischio da trasporto di merci pericolose). Questo SSD, che può rientrare nella classificazione di Environmental Decision Support System (EDSS) data da Rizzoli and Young [3], è costituito da tre moduli:

- una interfaccia GIS (Geographic Information System) per la caratterizzazione e la visualizzazione territoriale del problema e per il calcolo di parametri necessari alla sua formulazione;
- una base di dati che contiene informazioni di diverso tipo associate alla definizione real-time del rischio;
- un modulo di ottimizzazione, che definisce l'instradamento ottimale delle autobotti, e di conseguenza, definisce il rischio sulle diverse tratte stradali causato da tale gestione.

E' utile sottolineare che, nel SSD proposto, lo scopo è quello di supportare i futuri sistemi di instradamento dinamico (dynamic route guidance), e che il problema è formalizzato come un problema di programmazione matematica, in cui le variabili decisionali sono associate all'instradamento della flotta di veicoli. In altre parole, l'obiettivo finale di questa ricerca è di supportare i decisori nella pianificazione del trasporto di merci pericolose, che, in un'ottica moderna, dovrebbe essere maggiormente orientata ad una minimizzazione del rischio piuttosto che ad una minimizzazione dei costi.

La valutazione in real-time del rischio di questo trasporto risulta così essere un prerequisito per sviluppare tale SSD, e i relativi aspetti metodologici vengono discussi nella sezione successiva.

Infine, viene presentata una dimostrazione preliminare di tale valutazione su uno specifico territorio, ovvero la provincia di Savona, caratterizzato da un intenso traffico di merci pericolose e da infrastrutture che sono generalmente prossime ad insediamenti civili ed industriali.

## 3. METODI

Questo lavoro rientra in una convenzione di ricerca (vedi ringraziamenti) a maggior respiro che ha lo scopo di studiare metodi, supportati da recenti tecnologie informatiche e telematiche, e sviluppare relativi prototipi applicativi per ridurre l'impatto del trasporto di autobotti che trasportano prodotti petroliferi utilizzando la rete stradale italiana. In questo lavoro ci si sofferma principalmente sugli aspetti metodologici associati ad una corretta definizione del rischio associato a tale trasporto. Va infatti osservato infatti come questa definizione possa essere messa in stretta relazione con le più comunemente utilizzate definizioni di rischio industriale e naturale. In realtà, un'autobotte che trasporta prodotti petroliferi può essere accomunata ad un serbatoio di una raffineria che contiene gli stessi prodotti e che può rappresentare un pericolo per la popolazione. La principale differenza in questo caso è che tale pericolo si muove su una rete stradale. Così, mentre l'impostazione di piani e protocolli "statici" di emergenza risultano essere adeguati per siti industriali che risiedono stabilmente in una precisa posizione geografica con una chiara definizione delle possibili interazioni con la popolazione e gli altri esposti vulnerabili, lo stesso non può essere facilmente detto per un

pericolo in continuo movimento. In realtà, il rischio da trasporto di merci pericolose varia nel tempo e nello spazio sia per quanto riguarda le componenti associate alla pericolosità del trasporto sia per l'impatto possibile che un incidente può causare. Come semplice esempio, si consideri una autobotte che trasporta carburante; alcune componenti che definiscono la pericolosità del trasporto sono da valutarsi in modo diverso a seconda che si stia viaggiando con condizioni meteorologiche favorevoli su una strada rettilinea, piuttosto che su una strada tortuosa durante un temporale; similmente, per quanto riguarda le possibili conseguenze di uno specifico incidente, ad es. una esplosione, i danni attesi saranno ovviamente diversi in una area urbana, su un ponte sopra un fiume, o in una zona pianeggiante senza particolari importanti falde acquifere sottostanti. E' da sottolineare, inoltre, che in una esaustiva trattazione di questo rischio, anche l'impatto sugli esposti vulnerabili risulta essere un processo dinamico: ad es. il passaggio in un tratto stradale prossimo ad un nucleo abitativo residenziale ha un impatto certamente diverso a seconda del momento in cui avviene questo attraversamento (la notte e nei week-end esisterà una densità abitativa diversa rispetto alle ore lavorative). La valutazione dinamica del rischio è inoltre richiesta poiché è necessario decidere in uno specifico istante ed in tempo reale l'instradamento che minimizza il rischio tempo/spazio variante. In aggiunta, questa valutazione è oggi possibile grazie alle diverse tecnologie telematiche ed informatiche che permettono una definizione maggiormente dettagliata delle componenti dinamiche che condizionano in tempo reale il rischio. E' quindi richiesta una proposta di definizione della dinamica di tale rischio. Nelle seguenti sottosezioni vengono introdotti questi aspetti.

### **3.1 Definizioni generali di pericolosità e rischio industriale e naturale**

In questo lavoro vengono adottate le seguenti definizioni generali di pericolosità e rischio [4]. La pericolosità è relativa alle caratteristiche intrinseche di un materiale, di una condizione fisica o di una attività che ha il potenziale di creare un danno alla popolazione, alle proprietà e all'ambiente, e viene spesso definita in termini probabilistici. Il rischio è relativo alla combinazione della probabilità e delle conseguenze di un pericolo specifico che si realizza. Nel contesto dei pericoli industriali, il rischio è generalmente definito come una funzione (generalmente un prodotto) della frequenza attesa dell'evento calamitoso e della sua relativa magnitudo in termini di danno su persone, proprietà o sull'ambiente. Nel contesto dei pericoli naturali, viene generalmente adottata la definizione dell'UNESCO [5], che permette di calcolare il rischio su un insieme di elementi territoriali che possono essere danneggiati da un pericolo naturale, tramite una funzione (in particolare un prodotto) della probabilità di accadimento del pericolo, del valore degli elementi (persone, proprietà e ambiente), e della cosiddetta vulnerabilità, cioè la capacità di un elemento di resistere all'evento calamitoso. E' piuttosto evidente come queste definizioni di rischio industriale e naturale siano in qualche modo equivalenti: entrambe includono un termine relativo alla probabilità di accadimento del pericolo, ed entrambe includono un termine relativo all'intensità degli effetti sugli elementi che si trovano nelle vicinanze geografiche e temporali dell'evento.

### **3.2 Definizione di rischio nel trasporto di merci pericolose**

Entrambe le precedenti definizioni possono risultare adeguate alla definizione di rischio di trasporto di merci pericolose tenendo in considerazione che la probabilità di un evento e la sua magnitudo sono in questo caso tempo/spazio varianti, in quanto sono soggette a diversi fattori esterni/interni variabili nel tempo e nello spazio. Questi fattori variabili rappresentano la principale differenza rispetto alle definizioni di rischio naturale ed industriale. Nelle definizioni di rischio naturale ed ambientale, la componente probabilistica della pericolosità risulta essere spesso l'aspetto maggiormente rilevante, in quanto risulta essere difficilmente controllabile la realizzazione o meno dell'evento in un luogo in un dato momento. Nella definizione di rischio da trasporto di merci pericolose la valutazione probabilistica della pericolosità su di un tratto di strada risulta altrettanto importante, ma in questo caso il rischio può essere controllato in tempo reale, addirittura evitato impedendo il traffico di merci pericolose su quel tratto di strada per un certo periodo di tempo. Inoltre, anche la quantificazione dell'impatto dell'evento, che viene generalmente definita in termini probabilistici, ad esempio attraverso uno scenario maggiormente sfavorevole nel caso di rischio industriale, o ad uno scenario a ricorrenza storica definita in alcuni rischi naturali, nella valutazione da rischio da trasporto di merci pericolose tale quantificazione potrebbe risultare conosciuta in tempo reale o per lo meno calcolata o predetta su basi computazionali più affidabili.

In generale, gli instradamenti di tale trasporto possono essere considerati come sorgenti di rischio rappresentate da segmenti che a loro volta sono costituiti da infiniti punti associati ad altrettante sorgenti puntuali di rischio. Esistono diversi metodi per quantificare tale rischio, come descritto da Erkut and Verter [6]. Una definizione accurata dovrebbe includere almeno le caratteristiche e lo stato dei seguenti fattori

interagenti tra loro: la rete di trasporto, i veicoli (incluso la merce trasportata e il conducente) ed il territorio. L'approccio frequentemente utilizzato per valutare tale rischio è basato su tre stadi separati:

1. determinare la probabilità dell'incidente associata alla realizzazione dell'evento pericoloso;
2. stimare il grado di esposizione, data la natura dell'evento;
3. stimare la magnitudo delle conseguenze (vittime, feriti, danni a proprietà e all'ambiente) dato il livello di esposizione.

In questi stadi, vengono generalmente individuate delle funzioni di distribuzione probabilistiche condizionali. Nella pratica, a causa di mancanza di informazione, i tre stadi non vengono completamente sviluppati, mentre viene spesso utilizzato un approccio basato sul caso più sfavorevole [7]. Di conseguenza, il rischio atteso associato ad un dato segmento stradale  $l$ , viene sovente espresso come [7]:

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

dove,  $R_l$  è il rischio totale dato dalla movimentazione di merci pericolose sul tratto  $l$ ,  $S_l$  è il numero di spedizioni sul tratto  $l$ ,  $P_l$  è la probabilità di realizzazione incidentale per una singola spedizione sul tratto  $l$  e  $N_l$  è il numero totale di persone che saranno coinvolte nella realizzazione incidentale sul tratto  $l$ . La rarità di incidenti da trasporto specifico di merci pericolose rende piuttosto difficile calcolare tali probabilità di realizzazione su ciascun singolo tratto stradale, per cui vengono spesso utilizzati dati storici su trasporti merci generali per stimare tali probabilità. Inoltre per ciascun punto rilevante del tragitto, può essere realizzata una analisi maggiormente dettagliata per definire la magnitudo del rischio attraverso la valutazione di ulteriori aspetti, quali ad esempio l'area coinvolta dal peggior incidente realizzabile, od il comportamento possibile della dispersione aeriforme di una nube tossica, attraverso ad esempio un modello gaussiano di tale dispersione. Esistono diversi lavori indirizzati a tali aspetti. Tra gli altri, in Leonelli *et al.* [8], vengono introdotte due procedure dettagliate per la valutazione del rischio individuale e collettivo, in grado di integrare diversi metodi di trasporto, di merci pericolose, di condizioni meteorologiche e stagionali, una funzione di distribuzione di densità probailistica associata ad un vento non uniforme ed una accurata descrizione della popolazione entrante ed uscente nell'area di interesse e sul tratto stradale stesso. Alcuni metodi sono inoltre basati su tecnologie GIS; tra questi il lavoro di Zhang *et al.* [7] utilizza tecniche di algebra cartografica per combinare matematicamente le concentrazioni di contaminante aeriforme con la distribuzione della popolazione per stimare il rischio, per un possibile rilascio su ciascun punto stradale, per qualunque parte dell'area di studio.

### 3.3 Il ruolo delle nuove tecnologie nella definizione del rischio da trasporto di merci pericolose

Non vi è alcun dubbio che un ruolo rilevante nella definizione di tale rischio è ricoperto da nuove ed emergenti tecnologie telematiche ed informatiche. Esistono infatti diverse tecnologie che sono già utilizzabili e a volte già installate a bordo di un veicolo per monitorare lo stato corrente delle merci pericolose e del viaggio complessivo e di registrarlo in una sorta di "scatola nera" di bordo. L'innovazione maggiormente rilevante riguarda la possibilità di conoscere in tempo reale la posizione geografica esatta di un veicolo, e di trasferire, a basso costo e ovunque sia richiesto, questa informazione congiuntamente con i record acquisiti in tempo reale nella scatola nera

In tal senso, tecnologie di trasmissione "wireless", quali ad esempio Global System for Mobile communication (GSM) and General Packet Radio Services (GPRS), accoppiate con sistemi di Global Positioning Systems (GPS), rappresentano oramai una tecnologia consolidata e di grande attualità per monitorare in tempo reale una flotta di veicoli. Ad esempio, il progetto SIMAGE descritto in Di Mauro *et al.* [1], che si prefigge di sviluppare un sistema pilota in alcune province italiane per il monitoraggio ed il controllo del trasporto di merci pericolose principalmente su strada, è in parte basato su questa soluzione tecnologica. D'altro canto è anche evidente che tecnologie come GPRS e GPS non sono la soluzione di per sé, ma devono essere inserite in un sistema informativo che includa un modulo GIS [9] e strumenti di ottimizzazione [10]. Questi aspetti vengono brevemente descritti nelle sottosezioni seguenti.

### 3.4 Una proposta di definizione di rischio dinamico nel trasporto di merci pericolose

Il monitoraggio in tempo reale dell'instradamento reale di veicoli che trasportano merci pericolose, così come la conoscenza dei fattori che influenzano la magnitudo di questa pericolosità, permettono di introdurre una definizione dinamica di rischio. In realtà, una definizione esaustiva del rischio in questo settore richiede la valutazione di aspetti sia statici, sia dinamici. Ad esempio, l'informazione statica (o a lenta dinamicità rispetto alla valutazione del rischio) dovrebbe includere le caratteristiche di base del segmento di strada considerato (ad es. pendenza, tortuosità, lunghezza) e del territorio (la prossimità di un bacino fluviale, di

aree urbanizzate ecc..). L'informazione dinamica dovrebbe includere le condizioni di flusso di traffico (ad es. acquisite dalle società o istituzioni che gestiscono le strade), le condizioni meteorologiche attuali e predette, lo stato corrente fisico/chimico (temperatura, pressione ecc...) della merce pericolosa trasportata, la rappresentazione corrente dell'impatto e dell'esposizione e così via.

L'approccio proposto si prefigge di valutare tutti e quattro gli elementi che in letteratura sono indicati come prioritari nella valutazione della pericolosità, che sono: il conducente, il veicolo, la merce pericolosa, la strada. Tutti e quattro hanno componenti statiche e dinamiche da monitorare e se possibile migliorare, le principali delle quali sono riassunte nella tabella 1. In aggiunta, per valutare il rischio conseguente, sarebbe richiesta una rappresentazione dinamica degli impatti.

Uno dei principali obiettivi di questo lavoro è quello di includere sia le componenti statiche, sia quelle dinamiche, con l'obiettivo di minimizzare il rischio nei casi in cui sia possibile pianificare e gestire l'instradamento in tempo reale.

Tabella 1. I principali elementi che condizionano la pericolosità di un trasporto di merci pericolose.

Elementi prioritari nella valutazione della pericolosità	Esempi di componenti statiche	Esempi di componenti dinamiche real-time
Conducente	Conoscenze teoriche e pratiche nella gestione del trasporto (da formazione e relativi test), capacità di guida (da test), riflessi e condizioni fisiche (da test medici)	Condizioni fisiche
Veicolo	Condizioni del veicolo da controlli periodici	Velocità, condizioni delle ruote
Merce pericolosa	Stato ad inizio viaggio	Stato chimico e fisico
Tratta stradale	Tipo di strada (comunale, autostrada ...), caratteristiche (tortuosità, pendenza, gallerie, ponti ...)	Flusso veicolare, velocità, condizioni meteorologiche, condizioni del manto stradale, lavori in corso e cantieri...

Se una continua miglior valutazione delle componenti statiche è stata, per diversi anni, l'obiettivo principale delle società che gestiscono tale logistica, la disponibilità delle nuove tecnologie prima citate rappresenta una importante sfida per migliorare la mitigazione del rischio data dal monitoraggio delle sue componenti dinamiche.

In questo senso, è richiesta una nuova definizione di rischio da trasporto di merci pericolose su strada. Nel lavoro di Fabiano *et al.* [11], viene data grande enfasi alla valutazione della frequenza attesa di un incidente, che è alla base del calcolo della pericolosità. In particolare, su un dato segmento di strada  $i$ , di lunghezza  $L_i$  sul quale viaggiano  $n_i$  veicoli (per esempio all'anno), la frequenza  $f_i$  di un incidente può essere calcolata nel seguente modo:

$$f_i = \gamma_i L_i n_i \quad (2)$$

$$\gamma_i = \gamma_0 \prod_{j=1}^6 h_{i,j} \quad (3)$$

dove  $\gamma_i$  è la frequenza attesa di un incidente, che può essere calcolata moltiplicando una frequenza di base  $\gamma_0$  (incidenti  $\text{km}^{-1}$  per veicolo) e  $h_{i,j}$  sono parametri locali amplificanti o mitiganti. In particolare, per ogni tratta stradale  $i$ , vengono proposti sei parametri  $h_{i,j}$ : quattro parametri relativi alle caratteristiche intrinseche della strada (tortuosità, pendenza, numero di corsie, ponti/gallerie), condizioni meteorologiche e flusso veicolare.

Le condizioni meteorologiche e il flusso veicolare sono due parametri che hanno un ulteriore valore aggiunto nel caso in cui non solo possano essere monitorati in tempo reale, ma possano anche essere predetti con sufficiente affidabilità nell'immediato futuro. In aggiunta, esistono almeno altri due ulteriori parametri che sono importanti, che sono la velocità e la disponibilità di servizio sulla tratta stradale (per esempio lavori in corso, che limitano il servizio di tale tratta, per esempio, da due ad una sola corsia). Non sono stati al momento considerati valori amplificanti o mitiganti relativi al conducente. Nel presente lavoro si sono quindi considerati otto parametri, alcuni dei quali valutati dinamicamente. Inoltre l'approccio è limitato all'analisi del trasporto di prodotti petroliferi e a due scenari incidentali possibili: esplosione e rilascio. Nel primo caso risulta particolarmente importante valutare la magnitudo dell'evento con particolare attenzione alle persone che possono essere coinvolte (il conducente, gli altri conducenti sulla strada e le persone che vivono nelle vicinanze del tratto stradale), mentre nel secondo caso risulta particolarmente importante valutare il possibile

danno sull'infrastruttura (per esempio perdita di servizio sulla strada) e sull'ambiente (per esempio, l'inquinamento di una falda acquifera). Inoltre, una rappresentazione dinamica dell'impatto di un incidente dovrebbe essere anche necessaria per completezza, ma, come semplificazione preliminare, è stato considerato il caso maggiormente sfavorevole.

### 3.5 Una architettura di sistema di supporto alle decisioni per supportare la valutazione in tempo reale del rischio e l'instradamento in tempo reale delle merci pericolose su strada

Se si riconosce che ai giorni d'oggi è necessaria una nuova definizione di rischio dinamico nel trasporto di merci pericolose, deve essere evidenziato un altro aspetto, ossia che tale rischio può essere controllato in tempo reale. Per stabilire gli elementi che sono alla base di questa asserzione, è necessario introdurre alcune considerazioni riguardanti la pianificazione ed il controllo del trasporto di merci pericolose su strada.

La figura 1 mostra una rappresentazione semplificata di un sistema di pianificazione, che permette il calcolo degli instradamenti che devono effettuare i veicoli per soddisfare gli ordini dei clienti. In particolare, con riferimento al caso oggetto di studio che si riferisce alla distribuzione di prodotti petroliferi in stazioni di servizio, quotidianamente viene definito un piano di instradamento in relazione all'insieme di ordini ricevuti il giorno prima, le caratteristiche stradali (in particolare la matrice origine destinazione, relativa a depositi e stazioni di servizio) e in riferimento al posizionamento della domanda. In generale, tale pianificazione viene supportata da moduli di ottimizzazione che sono in grado di calcolare una soluzione ottima di un problema di "vehicle routing" [12], tali da perseguire obiettivi quali ad esempio la minimizzazione del tempo totale di consegna.

Una pianificazione orientata alla minimizzazione del rischio richiede altri approcci che includono problemi di programmazione matematica che derivano sempre da problemi di tipo "vehicle routing" con una funzione obiettivo associata al rischio [13], oppure da problemi in cui viene accoppiato il problema della localizzazione dei depositi con il problema della distribuzione, in modo da perseguire una equità della distribuzione del rischio su un territorio [14], e problemi legati alla progettazione di un sistema informativo [15]. Nel caso in cui sia importante considerare anche l'aspetto della dispersione aeriforme dell'inquinamento causato da un incidente, un utile riferimento è il lavoro di Karkazis e Boffey [16].

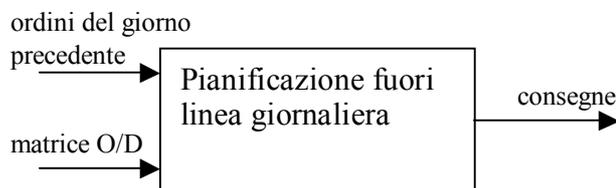


Figura 1. Rappresentazione semplificata di un sistema di supporto alle decisioni per la pianificazione delle consegne di merci pericolose.

Tutti questi aspetti sono tuttora oggetto della ricerca, tali da permettere l'evoluzione del SSD attualmente utilizzato e schematizzato in figura 1, verso un più completo SSD orientato alla gestione del rischio in tempo reale, come mostrato in figura 2. La figura 1 mostra infatti una rappresentazione semplificata di un sistema di pianificazione attuale, che permette il calcolo, fuori linea, delle consegne che devono effettuare i veicoli per soddisfare gli ordini dei clienti. Un sistema di pianificazione futuro gestito in tempo reale, schematizzato in figura 2, dovrebbe essere basato su un sistema interattivo composto dalla valutazione in tempo reale della domanda proveniente dal monitoraggio del livello dei serbatoi, dal calcolo di una pianificazione, o meglio controllo, ottimizzata delle consegne, dal monitoraggio dei percorsi effettivamente seguiti, e dalla valutazione in tempo reale del rischio sul territorio.

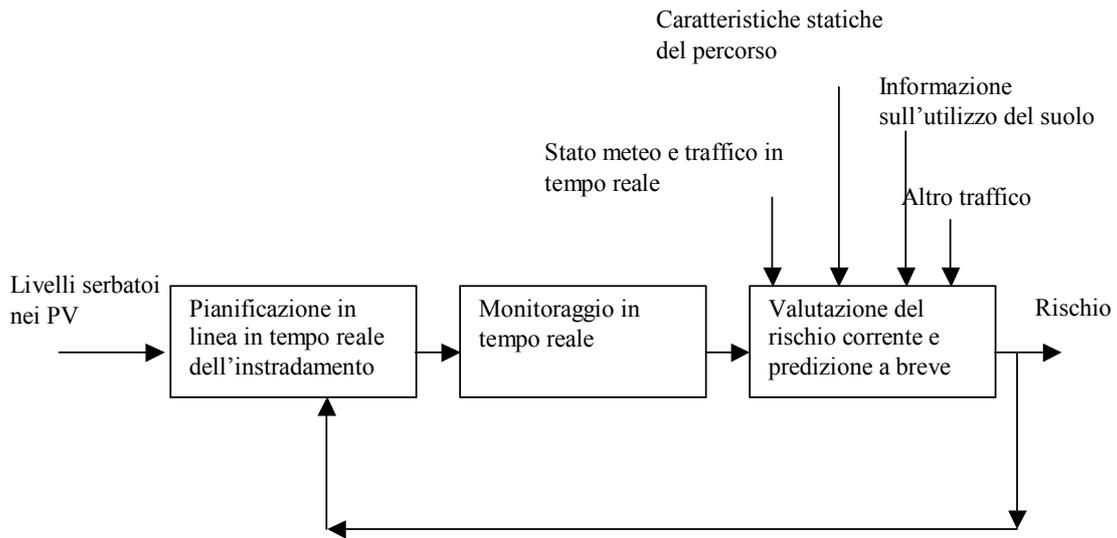


Figura 2. Rappresentazione semplificata di un sistema di supporto alle decisioni per la pianificazione delle consegne di merci pericolose in tempo reale e basato sulla valutazione del rischio.

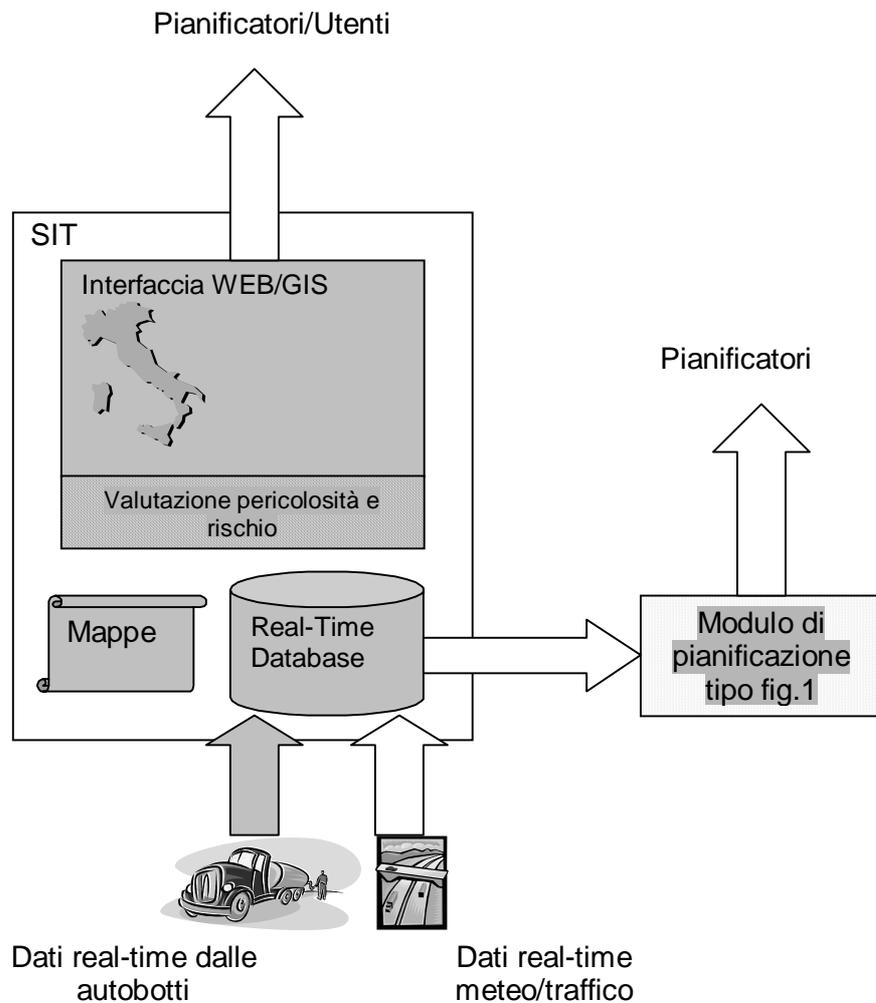


Figura 3. I moduli preliminari associati al sistema di pianificazione. In particolare il blocco con punti sullo sfondo è associato al modulo di pianificazione correntemente adottato, ed è in corso di valutazione la sua interazione con i moduli real-time mostrati sulla sinistra. I moduli ombreggiati in grigio rappresentano i moduli attualmente implementati, mentre il modulo ombreggiato con linee diagonali è ancora in fase di sviluppo metodologico.

#### 4. RISULTATI PRELIMINARI

Lo scopo di questa ricerca è di progettare e di implementare un SSD per la valutazione in tempo reale del rischio nel trasporto di merci pericolose su strada. Questa ricerca è in corso di evoluzione per passi. Al momento i moduli mostrati in figura 3 sono stati implementati in una prima forma prototipale che permette di monitorare il trasporto attraverso una interfaccia GIS accessibile via Web su Intranet/Internet. Inoltre, sono state provate delle sessioni di calcolo su dati storici per valutare il rischio su alcuni tratti stradali, in quanto il SSD non è al momento direttamente collegato alla sorgente di dati acquisiti in tempo reale riguardante le informazioni meteorologiche e sul traffico.

Un esempio di interfaccia grafica sviluppata per il SSD è presentata in figura 4, che mostra i risultati della valutazione del rischio su alcuni tratti stradali della regione Liguria, in particolare localizzati nella provincia di Savona, caratterizzati da una infrastruttura stradale generalmente molto prossima a insediamenti urbani e industriali. La figura 5 rappresenta invece la posizione in tempo reale di un veicolo.

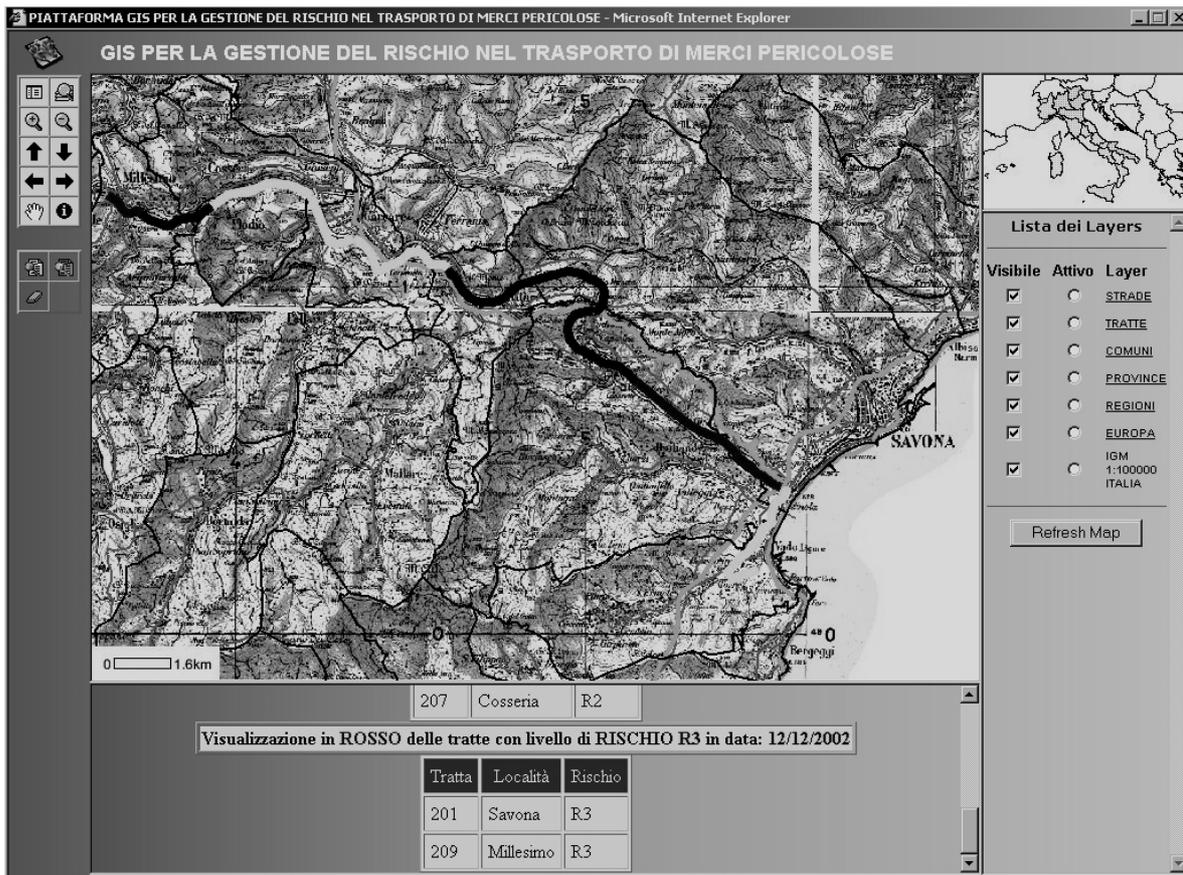


Figura 4. Interfaccia GIS per la valutazione in tempo reale del rischio su dati storici su alcuni tratti stradali in provincia di Savona.

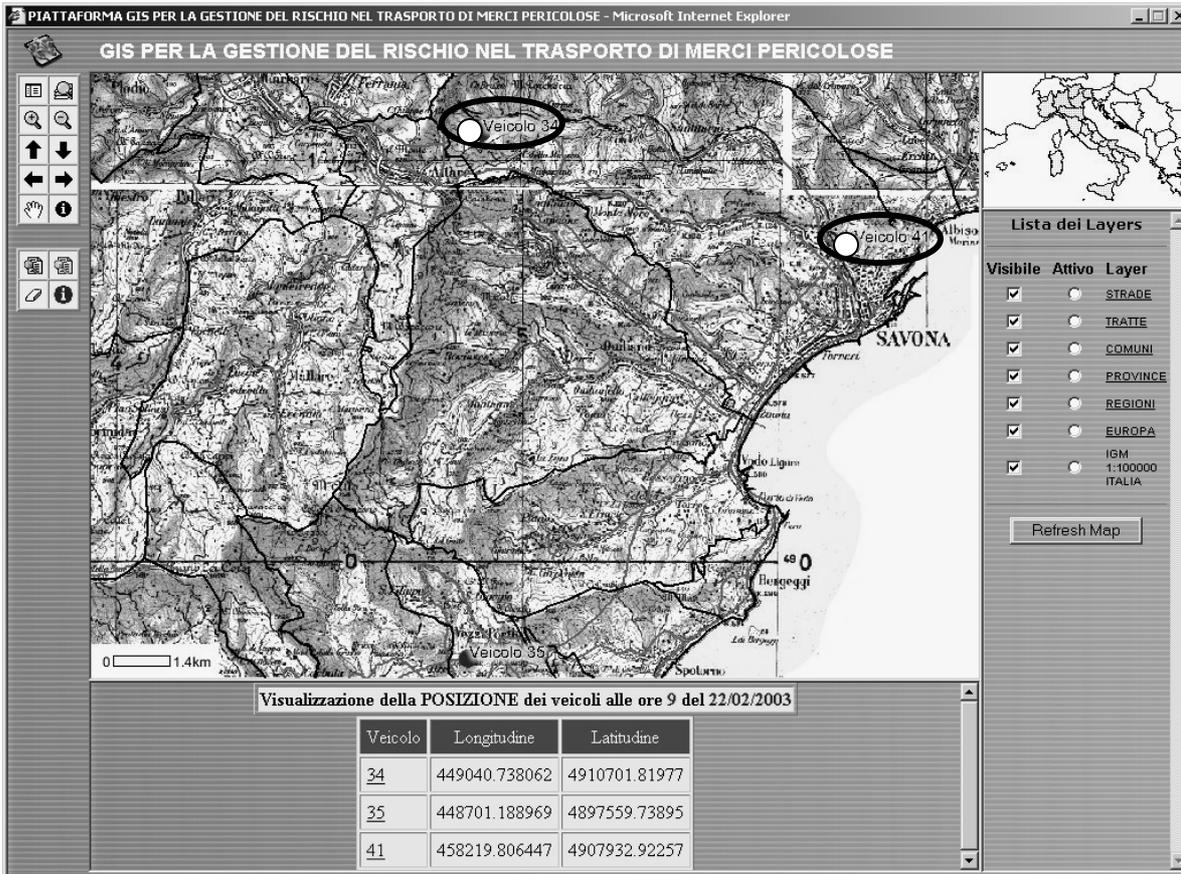


Figura 5. Interfaccia GIS per la valutazione in tempo reale della posizione di alcuni veicoli.

## 5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il problema del trasporto di merci pericolose su strada è un problema interdisciplinare complesso, che dovrebbe essere affrontato con diverse azioni tra le quali può essere certamente di aiuto una pianificazione ottima delle rotte basata sulla minimizzazione del rischio. Nuove emergenti tecnologie informatiche e telematiche e relativi nuovi sistemi per il monitoraggio del trasporto permettono di migliorare la definizione del rischio associato a questo trasporto, analizzando le sue componenti dinamiche e modellando la loro evoluzione in tempo reale. Il SSD proposto permette di calcolare, in una prima forma prototipale, le componenti dinamiche di tale rischio ed è basato su una metodologia che parte da valutazioni di rischio statico: le componenti dinamiche vengono introdotte come un fattore amplificante o che riduce, in tempo reale, la frequenza attesa dell'incidente. In un ulteriore sviluppo del SSD completo, simili considerazioni dovrebbero essere tenute in considerazione nella valutazione della magnitudo, cioè dell'impatto sugli elementi vulnerabili di un territorio.

Sviluppi futuri di tale sistema sono sia tecnologici, sia metodologici. Un aspetto tecnologico che è meritevole di interesse è quello di utilizzare il veicolo che transita su un percorso anche come fonte informativa sullo stato della pericolosità di quel tragitto in un dato momento: esempi in tal senso riguardano l'aggiunta di sensori a bordo per il monitoraggio delle condizioni meteorologiche (ad es. temperatura e luminosità), informazioni inserite dal conducente stesso (ad es. nebbia o incidente sulla strada). Aspetti metodologici importanti riguardano inoltre la calibrazione del modello su un insieme di dati storici e sulla esperienza pratica di conducenti, e la integrazione di tale modello con i modelli attualmente utilizzati per la pianificazione dei viaggi.

## 6. RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato finanziato da Intermode S.p.A. in riferimento ad un accordo di collaborazione tra DIST e INTERMODE S.p.A. INTERMODE S.p.A., fa parte del gruppo ENI, ed è una società che ha tra i suoi compiti quello di distribuire prodotti petroliferi a 8000 stazioni di servizio italiane, pianificando giornalmente circa 2000 autobotti, per una movimentazione complessiva di più di 15000 kton di prodotti petroliferi all'anno sulle strade italiane.

## 7. ELENCO DEI SIMBOLI E DELLE SIGLE

$f_i$	frequenza di incidente sul generico tratto stradale $i$
$h_{i,j}$	parametri locali amplificanti o mitiganti della frequenza di incidente sul generico tratto stradale $i$
$L_i$	lunghezza del generico tratto stradale $i$
$N_l$	numero totale di persone coinvolte nella realizzazione incidentale sul tratto $l$
$n_i$	numero di veicoli che, in un prefissato intervallo di tempo, viaggiano sul generico tratto stradale $i$
$P_l$	probabilità di realizzazione incidentale per una singola spedizione sul tratto $l$
$R_l$	rischio totale derivante dalla movimentazione di merci pericolose su un tratto stradale $l$
$\gamma_0$	frequenza di base di un incidente
$\gamma_i$	frequenza attesa di un incidente sul generico tratto stradale $i$
EDSS	environmental decision support system
GIS	geographic information system
GPRS	general packet radio services
GPS	global positioning systems
GSM	general system for mobile communication
SSD	sistema di supporto alle decisioni

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Di Mauro, J.P. Nordvik, A.C. Lucia, Multi-criteria decision support system and Data Warehouse for designing and monitoring sustainable industrial strategies - an Italian case study, *IEMSS*, Vol. 1, pp. 216-220, Lugano (2002)
- [2] FMCSA, Comparative Risks of Hazardous Materials and Non-Hazardous Materials Truck Shipment Accidents/Incidents, Washington, DC, available at <http://www.fmcsa.dot.gov> (2001)
- [3] A.E. Rizzoli, W.J. Young, Delivering environmental decision support systems: software tools and techniques, *Environmental Modelling and Software*, Vol. 12 (2-3), pp. 237-249 (1997)
- [4] U.S. DOT, Risk Management Framework for Hazardous Materials Transportation, available at <http://hazmat.dot.gov> (2000)
- [5] UNESCO, Report of consultative meeting of experts on the statistical study of natural hazard and their consequences, Document SC/WS/500 (1972)
- [6] E. Erkut, V. Verter, Modeling of transport risk for hazardous materials, *Operations Research*, Vol. 46 (5), pp. 625-642 (1998)
- [7] J. Zhang, J. Hodgson, E. Erkut, Using GIS to assess the risks of hazardous materials transport in networks, *EJOR*, Vol. 121, pp. 316-329 (2000)
- [8] P. Leonelli, S. Bonvicini, G. Spadoni, New detailed numerical procedures for calculating risk measures in hazardous materials transportation. *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 12, pp. 507-515 (1999)
- [9] S. Contini, F. Bellezza, M. D. Christou, C. Kirchsteiger, The use of geographic information systems in major accident risk assessment and management, *J. Hazardous Materials*, Vol. 78, pp. 223-245 (2000)
- [10] G.E.G. Beroggi, W.A. Wallace, *Routing of hazardous materials*. In *Operational Risk Management*, Kluwer Academic Publishers (1998)

- [11] B. Fabiano, F. Currò, E. Palazzi, R. Pastorino, A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 93, pp. 1–15 (2002)
- [12] N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, *The vehicle routing problem*. In N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, and C. Sandi, editors, *Combinatorial Optimization*, Wiley, Chichester, UK, pp. 315-338 (1979)
- [13] K.G. Zografos, K. N. Androutsopoulos, A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, *EJOR*, Vol. 152, pp. 507–519 (2004)
- [14] J. Current, S. Ratick, A model to assess risk, equity and efficiency in facility location and transportation of hazardous materials, *Location Science*, Vol. 3 (3), pp. 187-201 (1995)
- [15] G.E.G. Beroggi, A real-time routing model for hazardous materials, *EJOR*, Vol.75, pp. 508-520, (1994)
- [16] J. Karkazis a, T.B. Boffey, Optimal location of routes for vehicles transporting hazardous materials, *EJOR*, Vol. 86, pp.201-215, (1995).