

Il SIIG per la mappatura del rischio associato al trasporto di sostanze pericolose: applicazione in aree vulnerabili del contesto lombardo

Fabio Borghetti (*), Paolo Gandini (*), Giuseppe Pastorelli (*),
Luca Studer (*), Veronica Todeschini (**)

(*) Politecnico di Milano, via Durando 38/A - 20158 Milano, +39.02.2399.5847, fabio.borghetti@polimi.it

(**) Regione Lombardia, piazza Città di Lombardia 1 - 20124 Milano, +39.02.6765.6300,
veronica_todeschini@regione.lombardia.it

Abstract

Il progetto DESTINATION, "monitoraggio del trasporto di merci pericolose come strumento di tutela del territorio" nasce nel 2010 con il principale obiettivo di stimare e gestire il rischio associato al trasporto di merci pericolose su strada. Per raggiungere questo obiettivo è stata realizzata una rete di monitoraggio dei veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose ed è stato implementato un modello di rischio innovativo che considera sia le vulnerabilità antropiche sia quelle ambientali. Rete di monitoraggio e modello di rischio alimentano il SIIG - Sistema Informativo Integrato Globale come strumento di supporto alle decisioni in grado di raccogliere ed elaborare i dati territoriali e quelli provenienti dalla rete di monitoraggio, consentendo l'esecuzione di simulazioni finalizzate all'implementazione di mappe tematiche per la gestione del rischio. Il presente lavoro illustra l'applicazione del SIIG ad aree vulnerabili lombarde valutando sia bersagli antropici sia ambientali.

The DESTINATION project - monitoring the transport of dangerous goods as a means of protection for the territory - started in 2010 with the main objective to assess and manage the risk associated to the transport of dangerous goods by road. To achieve this goal, a network to monitor the vehicles carrying dangerous goods was developed and an innovative risk model was defined. The model considers both human and environmental targets. In addition, the GIIS - Global Integrated Information System - was developed as a decision support tool. The GIIS provides a platform for the sharing and analysis of data concerning dangerous goods transportation and for the execution of simulations, aimed to implement maps of risk. This work shows the GIIS application on vulnerable areas in Lombardy Region, evaluating both anthropic and environmental targets.

Il trasporto di sostanze pericolose su strada

Quando si verifica un incidente che coinvolge veicoli adibiti al Trasporto Merci Pericolose - TMP - l'evoluzione dello scenario incidentale, anche in funzione del tipo di sostanza trasportata e del guasto, può provocare significativi danni all'uomo e all'ambiente, inteso nella sua accezione più generale. Le conseguenze di tali eventi si traducono in costi sociali per la collettività non facilmente stimabili e/o monetizzabili in quanto il danno è costituito da un insieme di conseguenze ampio e valutabile con diverse unità di misura. E' sufficiente considerare, a titolo esemplificativo, l'insorgere di fenomeni di congestione a seguito di un incidente che coinvolge sostanze pericolose, che comporta un maggior tempo di percorrenza e quindi maggiori costi per gli utenti della strada. Tali costi, infatti, possono dipendere dalla tipologia di utente e/o dal tipo di merce trasportata nel caso di veicoli pesanti costretti ad effettuare deviazioni di percorso. In Figura 1 è illustrato un incidente stradale coinvolgente sostanza pericolosa – *Jet Fire*.



*Figura 1 - Incidente stradale con coinvolgimento di sostanza pericolose
(Direzione Regionale Vigili del Fuoco Lombardia).*

Se da un lato le statistiche confermano che la probabilità di accadimento di tali eventi risulti contenuta, dall'altro le gravi conseguenze di eventi che si sono verificati in passato hanno contribuito a sensibilizzare l'opinione pubblica e motivato le istituzioni ad un attento interesse al fenomeno. La valutazione e gestione del rischio connesso al trasporto di merci pericolose risulta ad oggi un problema di interesse strategico in quanto il danno sociale, comunque presente per un incidente tra veicoli, viene ulteriormente aggravato dalla pericolosità della merce trasportata, con potenziali conseguenze per persone, cose, flora e fauna, nonché possibili effetti di contaminazione dell'aria, delle falde, del suolo e sottosuolo (Gandini et al., 2014). Da queste considerazioni emerge l'importanza di una corretta gestione delle situazioni di emergenza causate da incidenti con TMP. In caso di evento rilevante, infatti, è necessario garantire il coordinamento delle operazioni di soccorso tra i soggetti deputati all'intervento. Poiché, come anticipato in precedenza, gli effetti di questi eventi si possono manifestare su larga scala, è necessario pianificare per tempo le azioni da compiere non solo nella zona dell'incidente bensì in un'area più ampia dove le ripercussioni e gli effetti potrebbero provocare situazioni di criticità per la popolazione (Borghetti et al., 2014).

Il progetto DESTINATION

Il Progetto DESTINATION - Conoscere il trasporto delle merci pericolose come strumento di tutela del territorio, finanziato nell'ambito del Tavolo Ambiente del Programma Operativo di Cooperazione Transfrontaliera Italia-Svizzera 2007-2013, nasce nel 2010 con l'obiettivo principale di accrescere la sensibilità sul pericolo intrinseco e relativo rischio connesso al TMP (Gandini et al., 2014). I partner istituzionali del progetto sono Regione Piemonte, Regione Lombardia, Regione Valle d'Aosta, Provincia Autonoma di Bolzano e Canton Ticino (CH). Inoltre, partecipano in qualità di partner tecnici, il Laboratorio Mobilità e Trasporti del Politecnico di Milano, Lombardia Informatica S.p.a., CSI Piemonte e 5T S.r.l.

Il SIIG, operativo e non sperimentale, permette l'acquisizione, l'analisi, elaborazione e la condivisione di dati territoriali, ambientali e relativi al TMP su strada (Borghetti et al., 2014), per una gestione più efficace ed efficiente delle attività connesse alle diverse fasi del TMP quali, ad esempio, pianificazione e prevenzione, assistenza durante il viaggio, gestione dell'emergenza in caso di incidente (Borghetti et al., 2014).

Le principali attività svolte all'interno del Progetto possono essere sintetizzate come segue:

- creazione di una rete di acquisizione e analisi dei dati sul TMP
- implementazione di un modello di analisi del rischio da TMP
- implementazione di strumenti di supporto alle decisioni per l'attuazione di interventi di carattere gestionale e/o infrastrutturale per la mitigazione del rischio.

Il SIIG per l'implementazione di mappe tematiche di rischio

Il SIIG consiste in una piattaforma dotata di un'architettura di interfaccia con l'utente costituita prevalentemente da maschere in cui è possibile l'inserimento di parametri e comandi di calcolo.

Lo strumento, utilizzabile anche per le attività di prevenzione e pianificazione, è in grado di effettuare elaborazioni standard, elaborazioni personalizzate e simulazioni, che prevedono la stima e la visualizzazione del rischio sulla rete stradale. Il SIIG consente, inoltre, la valutazione di singoli parametri della formula di rischio con particolare riferimento alla componente probabilistica o a quella relativa alle conseguenze.

Il modello di analisi di rischio TMP di DESTINATION (Gandini et al., 2012), che recepisce e sviluppa precedenti esperienze (Bruglieri et al., 2008) (Bubbico et al., 2004), applicato per ogni arco della rete stradale, restituisce il valore numerico del parametro calcolato, colorando l'arco in funzione della legenda impostata. Inoltre, è possibile visualizzare le aree di danno associate alla combinazione analizzata e ai bersagli interessati. Per la valutazione delle conseguenze sono state identificate 12 sostanze modello ritenute rappresentative degli scenari incidentali riportate in Figura 2: a ciascuna delle 12 sostanze sono stati associati i possibili scenari incidentali, intesi come evoluzione di un incidente stradale riguardante il TMP (evento iniziatore). I 14 scenari incidentali (da A a N) si caratterizzano per la tipologia di sostanza e di rilascio, per la sua evoluzione e per l'area di danno prodotta sulla base di una predefinita soglia di danno.

		Scenari rappresentativi del modello di calcolo													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Sostanze rappresentative del modello di calcolo	1 Idrogeno compresso	1-A													
	2 Ossigeno compresso									2-J					
	3 Azoto compresso										3-K				
	4 Ammoniacca anidra		4-B										4-L		4-N
	5 Gas di petrolio liquefatto			5-C	5-D	5-E									
	6 Ossido di etilene (+azoto)			6-C	6-D	6-E								6-L	
	7 Ossigeno liquido refrigerato										7-J				
	8 Azoto liquido refrigerato											8-K			
	9 Gasolio						9-F								9-N
	10 Benzina								10-H	10-I					10-N
	11 Metanolo								11-H	11-I				11-M	
	12 Epicloridrina						12-F	12-G						12-M	12-N

Figura 2 - Combinazioni sostanza/scenario implementate nel progetto DESTINATION.

Per ciascuna delle 27 combinazioni riportate in Figura 2 sono state valutate due modalità di rilascio:

- lieve - pari a circa il 20% della volumetria del contenitore
- grave - pari al 100% della volumetria del contenitore.

In Tabella 1 è riportata la ripartizione percentuale delle quattro sostanze rappresentative considerate nel modello di analisi di rischio e utilizzate per i due casi applicativi di descritti nel presente lavoro.

Sostanze pericolose	Ripartizione percentuale
Gasolio	42%
Benzina	14%
GPL	15%
Ammonica anidra	1%
Altre sostanze rappresentative considerate nel modello	10%
Altre sostanze non considerate nel modello	18%
Totale	100%

Tabella 1 - Ripartizione percentuale delle sostanze pericolose adottata nel modello di rischio.

Caso applicativo A: bersagli antropici

L'applicazione del SIIG a bersagli di tipo antropico è stata effettuata nell'intorno del sito EXPO con particolare riferimento a due parametri: il rischio sociale e i bersagli potenzialmente esposti. Le elaborazioni sono state eseguite considerando 3 sostanze tra le 12 rappresentative di Figura 2:

1. Benzina
2. GPL - Gas di Petrolio Liquefatto
3. Ammoniaca anidra.

Le prime due sostanze utilizzate sono quelle mediamente più trasportate sull'intera area di Progetto, mentre la scelta dell'ammoniaca è significativa perché rappresenta uno scenario incidentale associato a tossicità.

Per valutare i potenziali effetti di un evento incidentale è stato digitalizzato e considerato un poligono, coincidente con la piattaforma EXPO, al quale è associata una presenza di "addetti e utenti delle strutture della media e grande distribuzione" stimata pari a 200.000 (Regione Lombardia, 2013) come illustrato in verde in Figura 3.

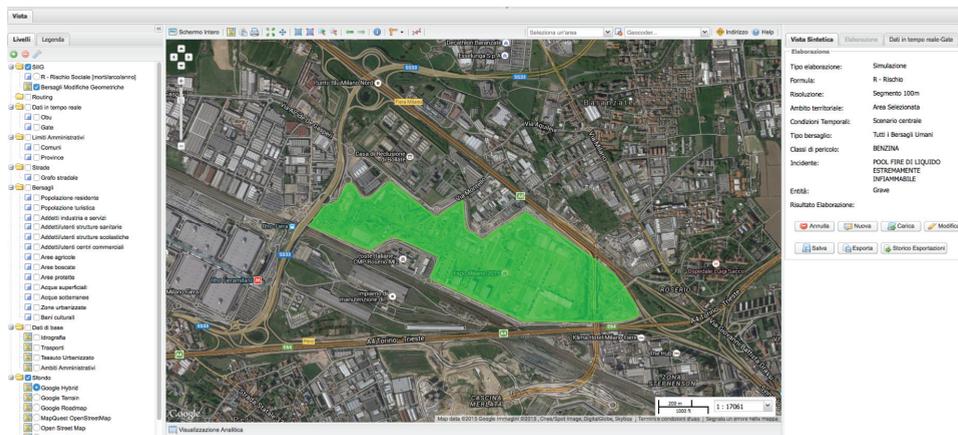


Figura 3 - Poligono piattaforma EXPO.

I bersagli antropici considerati nel modello di rischio, espressi in abitanti equivalenti, sono:

1. popolazione residente
2. popolazione fluttuante turistica
3. addetti dell'industria e dei servizi (con eccezione di quelli associati alle infrastrutture elencate di seguito)
4. addetti e utenti delle strutture sanitarie
5. addetti e utenti delle strutture scolastiche
6. addetti e utenti delle strutture della media e grande distribuzione
7. utenti della strada.

Nel presente studio, sia per la stima del rischio sociale sia dell'esposizione, sono state valutate contemporaneamente tutte le sette tipologie di bersaglio. A titolo esemplificativo, in Figura 4 sono riportate le aree di danno associate agli scenari incidentali coinvolgenti benzina e GPL. Per ciascuna delle tre sostanze sono state determinate quattro aree di danno corrispondenti a: elevata letalità, inizio letalità, lesioni irreversibili e lesioni reversibili, identificabili con le differenti tonalità di colore, dal blu scuro (in prossimità dell'arco stradale) all'azzurro (più lontano dal punto in cui si verifica l'evento).

È evidente come lo scenario associato al trasporto di GPL provochi un impatto e quindi un'area di danno maggiore rispetto alla benzina. In entrambi i casi, il poligono EXPO risulta limitatamente esposto alle soglie che contraddistinguono l'area di danno di elevata letalità (blu scuro). Gli utenti della strada costituiscono, naturalmente, i più diretti interessati, poiché ricadono all'interno dell'area di danno più critica, essendo molto vicini al potenziale veicolo incidentato (sorgente di rischio).

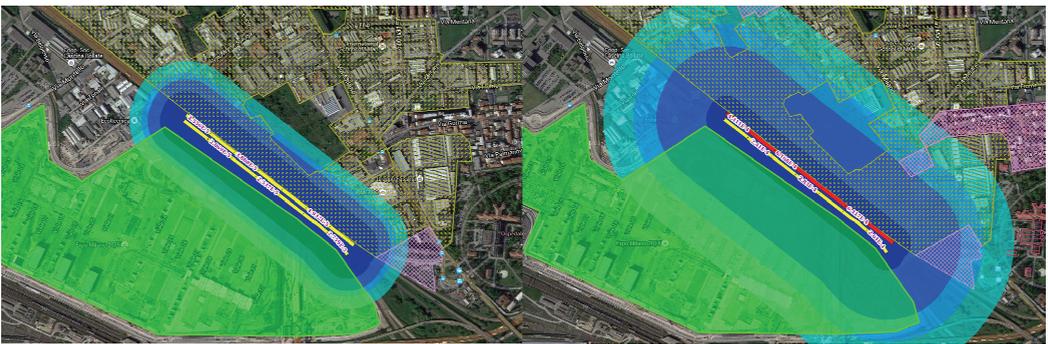


Figura 4 - Aree di danno per effetti associati alla benzina (sinistra) e GPL (a destra).

L'intersezione delle quattro aree di danno con i poligoni associati alle sette tipologie di bersaglio e con il poligono EXPO, consente di stimare i soggetti potenzialmente esposti e il rischio sociale riportando il valore sull'arco stradale come illustrato in Figura 5. Gli archi rossi sono quelli contraddistinti da un valore di rischio maggiore.



Figura 5 - Rischio sociale associato al trasporto di benzina (a sinistra) e GPL (a destra).

In Tabella 2 sono riportati i valori di rischio sociale ed esposizione per le tre sostanze considerate. Al fine di permettere una maggiore comprensione dei risultati si riportano i valori per sette archi stradali analizzati situati sulla carreggiata più vicina al poligono EXPO.

Arco	Rischio sociale [morti/km/anno]			E - Esposti [abitanti equivalenti/evento incidentale]		
	Benzina	GPL	Ammoniaca anidra	Benzina	GPL	Ammoniaca anidra
1	1,662E-05	1,961E-04	2,910E-08	8895	44070	8926
2	2,069E-05	2,410E-04	3,410E-08	11060	51520	11100
3	2,302E-05	2,719E-04	3,770E-08	11610	57670	11640
4	2,537E-05	2,830E-04	4,121E-08	11970	61140	12000
5	2,727E-05	2,857E-04	4,422E-08	12310	61100	12340
6	2,765E-05	2,804E-04	4,498E-08	12010	55190	12050
7	2,759E-05	2,640E-04	4,521E-08	11890	46640	11920
Media	2,403E-05	2,603E-04	3,950E-08	11392	53904	11425

Tabella 2 - Bersagli antropici: Rischio sociale ed Esposti.

È possibile osservare che il livello di rischio medio associato a benzina (2,403E-05) e ammoniaca anidra (3,950E-08) è più contenuto rispetto a quello del GPL (2,603E-04). Tale spiegazione è anche giustificata da un maggiore valore di esposizione (53904) associata ad un'area di danno più estesa. Nel grafico a sinistra di Figura 6 si osserva che, nonostante il valore medio di esposizione tra benzina (11392) e ammoniaca (11425), il valore di rischio di quest'ultima, considerando la componente probabilistica, risulta inferiore. Nel grafico di destra è possibile valutare le variazioni percentuali del valore di rischio sociale ed esposizione associati al trasporto di GPL e ammoniaca rispetto alla benzina. Si constata un valore di rischio associato al trasporto di GPL superiore di oltre il 900% rispetto a quello della benzina, a fronte di un incremento del valore dell'esposizione di oltre il 350%. Nel caso del trasporto dell'ammoniaca, invece, si apprezza una riduzione di oltre il 90%, a fronte un lieve aumento dell'esposizione di circa 0,3%.

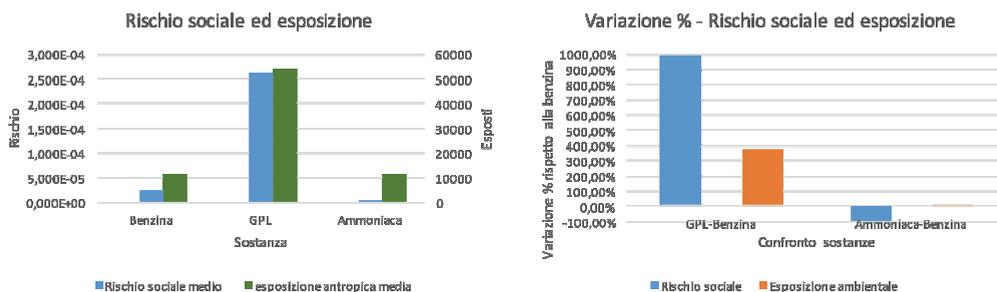


Figura 6 - Correlazioni caso applicativo A.

Caso applicativo B: bersagli ambientali

Per verificare la validità del SIIG in un contesto ambientale è stata eseguita un'applicazione su un tratto della SS36 nei pressi del comune di Abbadia Lariana (LC), come riportato in Figura 7, con particolare riferimento, anche in questo secondo caso, al rischio ambientale e ai bersagli potenzialmente esposti.

I bersagli ambientali considerati nel modello di rischio, espressi in m², sono le aree urbanizzate, i beni culturali, le aree boscate, le aree agricole e le acque superficiali. Viene valutata anche la presenza di aree protette e acque sotterranee (considerate come una sorta di fattore di aggravio rispetto agli altri elementi territoriali sensibili comunque coesistenti).

A differenza del caso precedente, le elaborazioni sono state effettuate valutando i potenziali impatti solo sul bersaglio "acque superficiali". Al fine di simulare un evento rilevante in grado di provocare uno sversamento nelle acque del lago di Como sono state considerate due sostanze: gasolio e ammoniaca anidra.



Figura 7 - Ambito contestuale del caso applicativo B: bersagli ambientali.

In Figura 8 sono riportate le aree di danno associate a uno sversamento di gasolio e ammoniaca anidra nel lago a margine della strada. Inoltre, su ciascun arco è riportato il valore di rischio ambientale. Si osserva la presenza di un arco colorato di rosso associato a valori elevati di rischio.



Figura 8 - Rischio ambientale e area di danno associati al trasporto di gasolio (a sinistra) e ammoniaca anidra (a destra).

Per effettuare la stima del rischio ambientale è necessario determinare l’esposizione dei bersagli, in questo caso le acque superficiali, espresse in m² di lago esposti a seguito dell’evento rilevante. All’interno del modello di rischio le aree di danno di gasolio e ammoniaca, per lo scenario “rilascio sul suolo e nelle acque” hanno entrambi un’ampiezza di 25 metri (Gandini et al., 2014). La Tabella 3 contiene i valori di rischio ambientale ed esposizione per le due sostanze considerate. Per una maggiore comprensione dei risultati si riportano i valori per quattro archi stradali analizzati.

Arco	Rischio ambientale [morti/km/anno]		E - Esposti [m2 esposti/evento incidentale]	
	Gasolio	Ammoniaca anidra	Gasolio	Ammoniaca anidra
1	4,147E-03	4,496E-07	2000	2000
2	3,525E-03	3,821E-07	1700	1700
3	4,769E-03	5,170E-07	2300	2300
4	8,927E-01	9,677E-05	2400	2400
Media	2,263E-01	2,453E-05	2100	2100

Tabella 3 - Bersagli ambientali: Rischio ambientale ed Esposti.

Il valore di rischio ambientale medio associato al gasolio (2,263E-01) risulta decisamente superiore rispetto a quello associato all’ammoniaca anidra (2,453E-05): tale considerazione è confermata dal fatto che, come riportato in Tabella 1, il modello di rischio associa al gasolio un maggior numero di transiti e quindi una maggiore probabilità di accadimento dello scenario incidentale. In Figura 9 sono riportate alcune correlazioni che confrontano il rischio ambientale medio e l’esposizione media e la rispettiva variazione percentuale. Si osserva che a parità di esposizione ambientale media tra gasolio e ammoniaca anidra (2100), il valore di rischio ambientale medio risulta decisamente diverso per le due sostanze. La riduzione del rischio ambientale associato al trasporto di ammoniaca rispetto al gasolio è, infatti, stimabile in una aliquota di oltre il 99% (diagramma a destra).

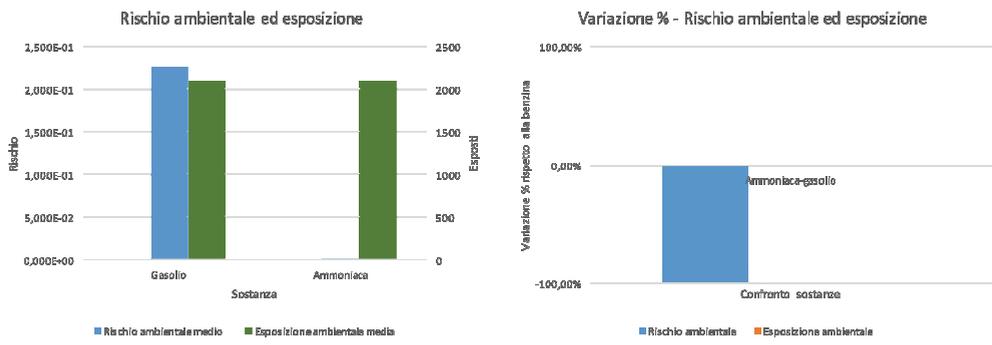


Figura 9 - Correlazioni caso applicativo B.

Conclusioni

L'applicazione del SIIG ai due casi studio ha confermato un buon livello di validità e affidabilità del modello di analisi del rischio implementato sia per la valutazione dei bersagli antropici sia per quelli ambientali. Tra le principali specificità del modello di calcolo e quindi del SIIG si sottolinea la possibilità di rappresentare formulazioni parziali del rischio come il parametro associato all'esposizione: in questo modo è possibile elaborare mappe tematiche relative a uno o più parametri che contribuiscono alla formulazione del rischio in funzione delle specifiche esigenze e necessità dell'utente. Le caratteristiche di flessibilità e modularità del SIIG consentono l'utilizzo dello strumento in differenti contesti territoriali, permettendo all'analista, qualora se ne verificasse la necessità, di variare coefficienti e pesi in funzione del livello di dettaglio atteso. Infine, l'utilizzo di mappe tematiche può essere utilizzato da diversi soggetti, tra cui i Gestori delle infrastrutture stradali, gli Enti territoriali e Servizi di Pronto intervento per una conoscenza preventiva del fenomeno e l'individuazione e attuazione di interventi di carattere infrastrutturale e gestionale finalizzati alla mitigazione del rischio associato al TMP.

Riferimenti bibliografici

Gandini P., Giannino G. M., Iuliano R., Pastorelli G. (2014), "DESTINATION - Uomo, strada, ambiente. Una sola destinazione. Volume 2 – Modello di analisi di rischio da TMP", *Regione Piemonte*, p. 1-59.

Borghetti F., Gandini P., Seminati P., Iuliano R., Studer L. (2014), "Progetto DESTINATION - Uno strumento per la tutela del territorio attraverso la conoscenza del rischio associato al trasporto di merci pericolose su strada", *Rivista GEOMEDIA*, vol. 2, p. 38-41.

Borghetti F., Gandini P., Iuliano R., Bonura L. (2014), "Merci pericolose sotto controllo", *Rivista LE STRADE*, vol. 7; p. 100-104.

Borghetti F., Gandini P., Iuliano R., Studer L., Maja R., Pastorelli G. (2013), "PROGETTO DESTINATION - Quantificare e gestire il rischio associato al trasporto di merci pericolose su strada", *ENERGIE & AMBIENTE OGGI*, vol. 10; p. 68-71.

Regione Lombardia (2013), "Modifiche al progetto per la realizzazione della piastra espositiva expo 2015 nei comuni di Milano e Rho (MI), DGR IX/4779 del 30/01/2013.

Gandini P., Bratta F., Orso Giaccone M., Studer L. (2012), "Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a global integrated information system to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory". *Chemical Engineering Transactions*. vol. 26-2012. *Cisap 5th International Conference on Safety & Environment in Process & Power Industry*.

Bruglieri M., Maja R., Marchionni G., Rainoldi G. (2008), *Advanced Technologies and Methodologies for Risk Management in the Global Transport of Dangerous Goods*. NATO Science fo Peace and Security Series. E: Human and Societal Dynamics – Vol 45. Genova

Bubbico R., Di Cave S., Mazzarotta B. (2004), "Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.