

Scuola di Ingegneria Civile Ambientale e Territoriale  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile  
- Or. Infrastrutture di Trasporto -



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

*C-ITS e trasporto di merci pericolose su strada: possibili ambiti di applicazione*

Tesi di Laurea magistrale di:  
Filippo Bosotti 945256

Relatore: Prof. Ing. Luca Studer

Correlatore: Prof. Ing. Paolo Gandini

Anno accademico 2020/2021



## *Ringraziamenti*

Giunto alla conclusione del mio percorso di studi universitari è doveroso ringraziare tutte le persone che mi hanno supportato nel raggiungimento di questo traguardo.

Ringrazio il mio relatore, il professor Luca Studer per la disponibilità e per la passione con la quale svolge la sua professione, grazie alla quale durante le lezioni mi ha fatto interessare al mondo dei trasporti. Grazie al professor Paolo Gandini per il supporto e i consigli preziosi che mi hanno permesso di svolgere questo lavoro.

Grazie mamma e papà, per avermi permesso di intraprendere questo percorso senza farmi mai mancare nulla, supportandomi in ogni momento. È anche grazie ai vostri sacrifici che sono riuscito a concludere il mio viaggio accademico. Probabilmente ve l'ho dimostrato poco, ma vi sono veramente grato per aver potuto sfruttare questa opportunità importante per il mio futuro.

Grazie a tutti i miei compagni di università, che si sono dimostrati essere veri amici sia nei momenti di difficoltà che in quelli di spensieratezza. Con alcuni di voi abbiamo condiviso parte del viaggio, altri mi hanno dovuto sopportare per tutti i 5 anni; Alberto, Giovanni, Stefano, Elena, Arianna, Paola: siamo stati una squadra forte, e continueremo ad esserlo. Grazie a tutti gli amici di lunga data, per essere stati sempre presenti al mio fianco. Infine, grazie ai miei colleghi di lavoro, gli ultimi arrivati in ordine temporale, ma fin da subito importanti come fonte di ispirazione.





# SOMMARIO

Il trasporto di merci pericolose riveste una particolare importanza all'interno del mondo dei trasporti in generale: se da un lato esso garantisce l'approvvigionamento di beni necessari per il funzionamento di numerose attività essenziali, dall'altro rappresenta una concreta fonte di pericolo per i trasportatori, per gli utenti della strada e per l'ambiente. L'aspetto pericoloso di questa tipologia di trasporto viene spesso sottovalutato e non viene preso in considerazione il fatto che generalmente gli eventi accidentali che coinvolgono un veicolo adibito al trasporto di merci pericolose e le conseguenze di essi sono più significative di un normale incidente. L'avvento di nuove tecnologie e di sistemi come i C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) potrebbe rivoluzionare i paradigmi di tale tipologia di trasporto, aumentando la sicurezza e diminuendo i rischi associati.

L'analisi dello stato dell'arte e dei progetti legati al mondo del trasporto delle merci pericolose (TMP) su strada e dei C-ITS ha evidenziato una scarsa commistione tra le due tematiche: solamente in uno studio è stato progettato un sistema di coordinazione dei veicoli di merci pericolose tramite C-ITS per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie.

La mancanza di letteratura sull'argomento ha portato alla definizione delle possibili informazioni ricavabili dai C-ITS e della loro applicazione in diversi ambiti del trasporto di merci pericolose, con lo scopo principale di migliorare i livelli di sicurezza.

La definizione dei possibili ambiti di utilizzo è stata sviluppata tramite la descrizione generale dei casi di utilizzo, delle informazioni e della tecnologia abilitante, focalizzandosi successivamente sui punti di forza e sui valori aggiunti rispetto alla situazione attuale, tenendo in considerazione anche le problematiche. Il lavoro svolto lascia aperta la possibilità di ulteriori sviluppi degli specifici ambiti di utilizzo basati anche su attività sperimentali.



## ABSTRACT

The transport of dangerous goods has a great importance within the world of transport: if on the one hand it ensures the supply of goods necessary for the operation of many essential activities, on the other hand it represents a real source of danger for carriers, road users and the environment. The dangerous aspect of this type of transport is often underestimated, and the fact that generally accidental events involving a vehicle used for the transport of dangerous goods and their consequences are more significant than a normal accident is not taken into consideration. The advent of new technologies and systems such as C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) could revolutionize the paradigms of this type of transport, increasing safety and decreasing the associated risks.

The analysis of the state of the art and projects related to the world of road transport of dangerous goods and C-ITS has shown a poor merge between the two topics: only in one study has been designed a system of coordination of vehicles of dangerous goods through C-ITS for the improvement of safety in tunnels.

The lack of literature on the subject has led to the definition of the possible information that can be obtained from C-ITS and their application in different areas of the transport of dangerous goods, with the main purpose of improving safety levels.

The definition of the possible areas of use has been developed through the general description of the use cases, information and enabling technology, then focusing on the strengths and added values compared to the current situation, considering the problems and the points of attention. The work done leaves open the possibility of further development of the specific use cases based also on experimental activities.

# INDICE

Indice Delle Figure .....	vii
Indice Delle Tabelle.....	viii
1.INTRODUZIONE .....	1
2. STATO DELL'ARTE TRASPORTO MERCI PERICOLOSE .....	3
2.1 Introduzione.....	3
2.2 ADN – Trasporto navale .....	4
2.3 IMDG – Trasporto marittimo .....	4
2.4 IATA DGR – Trasporto aereo .....	6
2.5 RID – Trasporto ferroviario.....	6
2.5.1 Introduzione e prescrizioni del RID .....	6
2.5.2 Approfondimento – Il trasporto di merci pericolose via ferrovia in Italia .....	10
2.6 ADR – Trasporto stradale.....	11
2.6.1 Introduzione.....	11
2.6.2 Formazione professionale.....	12
2.6.3 Il consulente per la sicurezza.....	14
2.6.4 Documentazione necessaria per il TMP .....	14
2.6.5 Attrezzature a bordo dei veicoli.....	15
2.6.6 Forme di contenimento .....	16
2.6.7 Segnali per il riconoscimento e l'individuazione delle merci pericolose.....	19
2.6.8 Marcatura dei veicoli .....	21
2.7 Norma UNI EN ISO 39001 – Sistemi di Gestione della Sicurezza Stradale .....	30
2.8 Direttiva 2008/68/CE.....	31
2.9 Scenari incidentali riguardanti le merci pericolose .....	31
2.9.1 Introduzione.....	31
2.9.2 Evoluzione temporale dello scenario incidentale .....	32
2.9.3 Principali scenari incidentali .....	32

2.10 Sistemi e metodi per la diminuzione dei rischi connessi al TMP.....	40
2.10.1 Introduzione.....	40
2.10.2 Sistema di monitoraggio delle merci pericolose (Autovie Venete S.p.A.).....	40
2.10.3 Progetto Destination - DangErouS tranSport To New prevenTive Instruments.....	45
2.10.4 Progetto Lose+ - LOgistica e SicurEzza del trasporto merci .....	53
2.10.5 Sistemi di monitoraggio per il trasporto di merci pericolose basati su sistemi di navigazione satellitari.....	55
3. STATO DELL'ARTE C-ITS .....	58
3.1 INTRODUZIONE .....	58
3.2 Direttiva 2010/40/UE - Direttiva ITS (Intelligent Transport System) .....	59
3.3 Regolamento Delegato C (2019)1789 .....	61
3.3.1 INTRODUZIONE .....	61
3.3.2 Servizi C-ITS.....	61
3.3.3 Tecnologie di comunicazione C-ITS.....	63
3.4 C-Roads Platform .....	64
3.5 Progetto SOLRED C-ITS monitoring system .....	67
3.6 Progetto CONCORDA - Connected Corridor for Driving Automation.....	68
3.7 Progetto CITRUS – Cooperative ITS for trucks .....	69
3.8 Sistemi di coordinazione di veicoli per trasporto merci pericolose tramite C-ITS ...	80
4. ANALISI DEGLI AMBITI DI APPLICAZIONE DEI C-ITS SUL TRASPORTO DELLE MERCI PERICOLOSE.....	88
4.1 Introduzione.....	88
4.2 Informazioni ricavabili dall'utilizzo dei C-ITS e tipologie di comunicazione.....	89
4.3 AMBITI DI APPLICAZIONE dei C-ITS .....	91
4.3.1 Analisi statistica sui flussi di merci pericolose.....	95
4.3.2 Tracciamento dei veicoli e dei carichi.....	97
4.3.3 Monitoraggio efficienza del veicolo e delle condizioni del carico.....	99
4.3.4 Mitigazione del rischio durante il trasporto.....	101

4.3.5 Prevenzione delle situazioni ad alto rischio .....	103
4.3.6 Gestione delle emergenze e allertamento .....	112
4.3.7 RIASSUNTO DELLE AREE DI IMPATTO.....	115
5. 5. CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI .....	118

## Indice Delle Figure

Figura 1 - Tkm di merce pericolosa trasportata via ferrovia, 2018 .....	11
Figura 2 - Autocisterna .....	17
Figura 3 - Tank container .....	18
Figura 4 - Esepio numero Kemler (1).....	19
Figura 5 - Esepio numero Kemler (2).....	20
Figura 6 - Numero di identificazione del pericolo con sostanza che reagisce pericolosamente con l'acqua .....	20
Figura 7 - Numero ONU.....	21
Figura 8 - Esempio di etichettatura veicolo cisterna monoscomparto.....	22
Figura 9 - Esempio pannellatura veicolo cisterna 2 scomparti.....	23
Figura 10 - Veicolo per colli di tutte le classi (escl. 1 e 7).....	23
Figura 11 - Veicolo cassonato, telonato o furgonato per trasporto classi 1 e 7.....	24
Figura 12 - Veicolo carico con container box per il trasporto colli.....	24
Figura 13 - Veicolo con contenitore o cassa mobile per il trasporto di merci alla rinfusa..	25
Figura 14 - Veicolo cassonato trasportante merce alla rinfusa, metodo 1.....	25
Figura 15 - Veicolo cassonato trasportante merce alla rinfusa, metodo 2.....	26
Figura 16 - Veicolo cisterna mono scomparto o veicolo con batteria di recipienti, metodo 1 .....	26
Figura 17 - Veicolo cisterna mono scomparto o veicoloo con batteria di recipienti, metodo 2 .....	27
Figura 18 - Veicolo cisterna con scomparti multipli .....	27
Figura 19 - Veicolo cisterna con scomparti multipli, trasportante una sola materia pericolosa.....	28
Figura 20 - Veicolo cisterna a più scomparti trasportanti 2 o più carburanti identificati con i numeri ONU 1202, 1203 o 1223 .....	29
Figura 21 - Veicolo cisterna a più scomparti trasportanti 2 o più carburanti identificati con i numeri ONU 1202, 1203 o 1223 .....	29
Figura 22 - Esempio di Pool Fire .....	33
Figura 23 - Esempio di jet-fire .....	34
Figura 24 – Boil over.....	35
Figura 25 - Fasi del Boil over.....	36
Figura 26 - Fireball.....	36

Figura 27 - Esempio Bleve .....	37
Figura 28 - Incidente Bologna, 6 agosto 2018 .....	39
Figura 29 - La rete autostradale gestita da Autovie Venete .....	41
Figura 30 - Numero di transiti in particolari sezioni di monitoraggio.....	43
Figura 31 - Variazione dei transiti.....	43
Figura 32 - Tipologie di merci trasportate.....	44
Figura 33 - Localizzazione delle telecamere .....	47
Figura 34 - Esempio di rappresentazione sintetica del rischio .....	52
Figura 35 - Struttura del sistema di monitoraggio.....	56
Figura 36 - Struttura del sistema di monitoraggio.....	57
Figura 37 - Accelerazioni medie in approccio all'intersezione .....	78
Figura 38 - Velocità media in approccio all'intersezione .....	79
Figura 39 - Tempi medi guadagnati ad ogni intersezione .....	80
Figura 40- Sistema DGV-GCC .....	81
Figura 41- Sistema DGV-GDC .....	82
Figura 42- Sistema DGV-LC.....	83
Figura 44 - Esempio di truck platooning.....	105

## Indice Delle Tabelle

Tabella 1 - Classi di sostanze pericolose RID .....	7
Tabella 2 - Sostanze pericolose trasportate in Italia, 2018 .....	10
Tabella 3 - Gruppi di imballaggio .....	16
Tabella 4 - Servizi C-ITS prioritari .....	61
Tabella 5 - Progetto Citrus, dashboard avviso di ingorgo .....	70
Tabella 6- Progetto Citrus, dashboard avviso di veicolo fermo davanti a sé .....	72
Tabella 7- Progetto Citrus, dashboard avviso di ostacolo .....	73
Tabella 8 - - Progetto Citrus, dashboard avviso di incidente (Incident).....	73
Tabella 9- Progetto Citrus, dashboard avviso di incidente (Accident).....	74
Tabella 10- Progetto Citrus, dashboard avviso di pericolo di sbandamento .....	75
Tabella 11- Progetto Citrus, dashboard avviso di lavori stradali .....	76
Tabella 12 - - Progetto Citrus, dashboard fasi semaforiche .....	78
Tabella 13 - Aree di impatto C-ITS.....	94
Tabella 14 - Riassunto delle aree di impatto .....	115



# 1.INTRODUZIONE

Il mondo del trasporto delle merci ha rivestito da sempre una grande importanza all'interno della società, garantendo lo sviluppo delle attività antropiche; il trasporto di merci pericolose ricopre altrettanta importanza perché permette l'approvvigionamento di beni necessari per il funzionamento di numerose attività essenziali. Allo stesso tempo il trasporto di merci pericolose, a causa della natura stessa delle sostanze trasportate, è notevolmente più pericoloso del trasporto delle merci non pericolose.

Come evidenziato in alcuni studi di settore [1], i conducenti di autocarri affrontano più rischi di qualsiasi altro lavoro e hanno 12 volte più probabilità di morire sul lavoro rispetto al resto della popolazione lavorativa. In particolare, il rischio che deriva dall'attività di trasporto è composto dalla probabilità di accadimento degli incidenti, e dalle possibili conseguenze avverse che generano gli stessi; quindi, il rischio associato al TMP (Trasporto Merci Pericolose) non dipende solo dalla sostanza trasportata, ma anche dalla guida stessa che determina la probabilità di accadimento di un incidente. Non potendo agire sulla riduzione del rischio associato alla sostanza in sé, si è pensato a come poter ridurre il rischio associato alla guida ed al trasporto.

Una possibile soluzione per la riduzione del rischio del trasporto è quella di sfruttare il progresso tecnologico, utilizzando dei sistemi intelligenti. La scelta è ricaduta quindi sui Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS), ovvero dei sistemi cooperativi in grado di permettere la comunicazione veicolo-veicolo ed anche veicolo-infrastruttura. I C-ITS stanno prendendo sempre più piede nell'industria dell'automotive, e potrebbero rappresentare un vero elemento di rottura rispetto alla gestione del trasporto per come è definita ed è stata trattata fino ad oggi.

Nel presente lavoro si è quindi cercato di definire i possibili ambiti di applicazione dei C-ITS per il miglioramento del trasporto delle merci pericolose, articolando l'analisi secondo la seguente modalità:

- Capitolo 1 - Introduzione
- Capitolo 2 - Stato dell'arte del trasporto delle merci pericolose: si riportano le principali normative e regolamenti relativi al trasporto delle merci pericolose e gli scenari incidentali connessi; si descrivono alcuni progetti, sistemi e metodi per la riduzione del rischio connesso al trasporto delle merci pericolose;

- Capitolo 3 – Stato dell’arte C-ITS: si illustra la normativa di riferimento che regola l’utilizzo dei C-ITS e i principali progetti sviluppati nel relativo ambito;
- Capitolo 4 – Analisi degli ambiti di applicazione dei C-ITS sul trasporto delle merci pericolose: si descrivono le aree potenzialmente impattate dall’utilizzo di tali sistemi, andando a descrivere i punti di forza, il valore aggiunto dei C-ITS rispetto allo scenario attuale ed i punti di attenzione;
- Capitolo 5 - Conclusioni

## 2. STATO DELL'ARTE TRASPORTO MERCI PERICOLOSE

### 2.1 INTRODUZIONE

La necessità di regolamenti internazionali per la gestione del trasporto di merci pericolose è stata riconosciuta fin dal 1900 e nel corso degli anni sono stati sviluppati regolamenti specifici per le varie modalità di trasporto. Le merci pericolose vengono spedite e trasportate in tutto il mondo tramite le classiche modalità di trasporto: navale, ferroviario, aereo e stradale; le diverse modalità sono normate dai seguenti regolamenti:

- Trasporto navale per acque interne: *Accord Européen Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Voies de Navigation Intérieures* (ADN)
- Trasporto marittimo: *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG)
- Trasporto aereo: *Dangerous Goods Regulation* (IATA DGR)
- Trasporto ferroviario: *Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses* (RID)
- Trasporto stradale: *Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route* (ADR)

In base a questi regolamenti sono state stabilite le procedure per la classificazione delle merci pericolose, che comprendono le condizioni per il loro trasporto, i metodi di carico sui diversi mezzi di trasporto, nonché i requisiti in termini di organizzazione, formazione del personale e documentazione specifica da fornire per effettuare il trasporto e che può risultare utile in caso di incidenti.

In aggiunta ai regolamenti sopracitati, negli anni sono state emesse ulteriori normative e direttive per la regolamentazione del trasporto di merci pericolose e in riferimento alla sicurezza stradale, in particolare:

- Norma UNI EN ISO 39001 – Sistemi di Gestione della Sicurezza Stradale;
- Direttiva 2008/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 24 settembre 2008 relativa al trasporto interno di merci pericolose

Un'ulteriore importante direttiva ai fini dello sviluppo del lavoro corrente è la Direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 7 luglio 2010, sul quadro generale

per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti (ITS) nel settore del trasporto stradale e delle interfacce con altri modi di trasporto, ed anche il Regolamento Delegato C (2019)1789 integrativo alla Direttiva 2010/40/UE che approfondisce tematiche riguardo la diffusione e l'utilizzo dei sistemi intelligenti di trasporto cooperativi (C-ITS).

## 2.2 ADN – TRASPORTO NAVALE

L'accordo europeo relativo al trasporto internazionale di merci pericolose per vie di navigazione interna è la normativa europea che regola questa tipologia di trasporto. L'ADN è stato adottato il 25 maggio 2000 in occasione della Conferenza Diplomatica organizzata unitamente dalla Commissione Economica per l'Europa (UNECE) e dalla Commissione Centrale per la Navigazione sul Reno (CCNR) ed è entrato in vigore il 29 febbraio 2008. Le normative ADR/RID/ADN sono revisionate con cadenza biennale, con entrata in vigore delle modifiche negli anni dispari.

La normativa ADN regola la classificazione delle merci pericolose, le modalità di imballaggio, i contenitori di trasporto, la segnalazione dei colli e delle unità di trasporto, la redazione del documento di trasporto, la tipologia di cisterne e i veicoli idonei a trasportare le merci pericolose.

I Regolamenti allegati all'ADN contengono le disposizioni relative alle sostanze e agli oggetti pericolosi, le disposizioni relative al loro trasporto in colli e alla rinfusa a bordo di navi o navi cisterna della navigazione interna, nonché le disposizioni relative alla costruzione e all'esercizio di tali navi. Inoltre, contemplano anche i requisiti e le procedure per le ispezioni, il rilascio dei certificati di approvazione, il riconoscimento degli organismi di classificazione, il monitoraggio, e la formazione e l'esame degli esperti.

## 2.3 IMDG – TRASPORTO MARITTIMO

L'IMDG Code, la cui sigla sta per International Maritime Dangerous Goods, è la normativa internazionale che funge da riferimento per il trasporto in mare di merci pericolose. A livello nazionale in Italia, il punto di riferimento è indicato dal Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, il quale nell'ambito del trasporto di merci pericolose delega la sua autorità alla Capitaneria di Porto.

Le leggi di riferimento per l'Italia sono:

- il Decreto 481/2010, (procedure e metodi di prova per la sicurezza degli imballaggi per il trasporto marittimo delle merci pericolose);

- il Decreto Ministeriale 265 del 2010 (elenco di prodotti ammessi al trasporto marittimo in imballaggi, contenitori intermedi e cisterne);
- il Decreto del Presidente della Repubblica N. 134/2005.
- la Circolare n. 35/2019 emessa dal Comando Generale delle Capitanerie di porto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Il Codice IMDG fornisce le regole necessarie al trasporto in sicurezza delle merci pericolose in mare, specificando ad esempio le disposizioni relative all'imballaggio, ai criteri di pericolosità, alle condizioni di trasporto, alla segnalazione dei colli/unità di trasporto, alla documentazione necessaria (come la Multimodal Dangerous Goods Form), ai veicoli preposti al trasporto.

Secondo il Codice, che viene aggiornato con cadenza biennale, le merci pericolose sono distinte sulla base di classi e sottoclassi differenti a seconda delle sostanze che le compongono. Come già specificato sopra, in ciascuna classe possono essere trovati la tipologia di imballaggio, il numero ONU/UN Number (numero di quattro cifre che identifica le merci pericolose), le raccomandazioni e la prassi operativa. In particolare, le classi di merci pericolose del Codice IMDG sono:

- Classe 1: Esplosivi
- Classe 2: Gas
- Classe 3: Liquidi infiammabili
- Classe 4: Solidi infiammabili
- Classe 5: Materie comburenti e Perossidi organici
- Classe 6: Materie Tossiche ed Infettanti
- Classe 7: Materiali Radioattivi
- Classe 8: Materie Corrosive
- Classe 9: Materie e oggetti pericolosi diversi
- Classe 10: Inquinanti marini

Per effettuare il trasporto di merci pericolose via mare è necessario innanzitutto che lo speditore fornisca i dati relativi alla merce come la classe, la tipologia di imballaggio e il numero ONU; questi dati saranno in particolare modo utili allo spedizioniere al fine di valutare il rischio e la fattibilità delle operazioni. Successivamente dovranno anche essere forniti i seguenti documenti:

- Safety Data Sheet (Scheda di Sicurezza del Prodotto): documento legale redatto dalla ditta produttrice della merce, nel quale vengono elencati i rischi per la salute causati da un errata manipolazione del prodotto, i dettagli del produttore e le istruzioni per il trasporto;
- Multimodal for Dangerous Goods (Scheda Multimodal): documento specifico al trasporto via mare di merci pericolose, destinato ai porti esteri e nazionali, nel quale vengono fornite le informazioni sul prodotto e sul produttore, sulla tipologia di trasporto, sui mezzi utilizzati, nonché sul tragitto compiuto.

## 2.4 IATA DGR – TRASPORTO AEREO

Dangerous Good Regulations è il regolamento sviluppato dall' International Air Transport Association (IATA) per la definizione delle norme relative al trasporto in sicurezza delle merci pericolose per via aerea. All'interno del manuale DGR sono contenute le disposizioni relative alle merci proibite e alle quantità ammesse di stoccaggio e trasporto; inoltre è presente la classificazione delle merci trasportabili, le istruzioni per l'imballaggio e le specifiche dell'imballaggio, la documentazione necessaria da accompagnare al materiale trasportato, disposizioni riguardo la gestione del materiale radioattivo, le istruzioni per la movimentazione e l'handling delle merci, ed infine le indicazioni su responsabilità dell'operatore e del mittente, sulla formazione e la segnalazione degli incidenti.

## 2.5 RID – TRASPORTO FERROVIARIO

### 2.5.1 INTRODUZIONE E PRESCRIZIONI DEL RID

Il regolamento che disciplina tale modalità di trasporto è il RID, acronimo di *Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses*. La normativa RID specifica:

- Le merci pericolose il cui trasporto internazionale è proibito;
- Le merci pericolose il cui trasporto internazionale è autorizzato, e le condizioni riguardanti tali merci, come in particolare:
  - La classificazione delle merci
  - L'utilizzazione degli imballaggi
  - L'utilizzazione delle cisterne

- Le procedure di spedizione (comprese la marcatura e l'etichettatura dei colli, come anche la documentazione e le informazioni richieste)
- Le disposizioni concernenti costruzione, prova e approvazione degli imballaggi e delle cisterne
- L'utilizzazione dei mezzi di trasporto

Inoltre, all'interno del Regolamento sono presenti le indicazioni riguardanti:

- La formazione necessaria delle persone addette al trasporto di merci pericolose;
- Gli obblighi di sicurezza degli operatori del trasporto di merci pericolose, in particolare differenziati per:
  - Speditore
  - Trasportatore
  - Destinatario
  - Caricatore
  - Riempitore
  - Gestore di un container-cisterna o di una cisterna mobile
  - Gestore di un carro-cisterna
  - Scaricatore
- Le disposizioni concernenti i materiali di classe 7 (Materiali Radioattivi)
- Le restrizioni al trasporto emanate dalle autorità competenti
- Disposizioni concernenti la security, con la definizione di merci pericolose ad alto rischio, elencate nella tabella seguente e ad alto rischio se trasportate in quantità superiori a quelle indicate:

Tabella 1 - Classi di sostanze pericolose RID

Classe	Divisione	Materia o oggetto	Quantità		
			Cisterna (litri) <sup>c</sup>	Trasporto alla rinfusa (kg) <sup>d</sup>	Colli (kg)
1	1.1	Esplosivi	a	a	0
	1.2	Esplosivi	a	a	0
	1.3	Esplosivi del gruppo di compatibilità C	a	a	0
	1.4	Materie ed oggetti esplosivi dei N° ONU 0104, 0237, 0255, 0267, 0289,	a	a	0

		0361, 0365, 0366, 0440, 0441, 0455, 0456 e 0500			
	1.5	Esplosivi	0	a	0
2		Gas infiammabili (codice di classificazione comprendente soltanto la lettera F)	3000	a	b
		Gas tossici (codici di classificazioni che includono le lettere T, TF, TC, TO, TFC, TOC) ad esclusione degli aerosol	0	a	0
3		Liquidi infiammabili dei gruppi di imballaggio I e II	3000	a	b
		Esplosivi liquidi desensibilizzati	0	a	0
4.1		Esplosivi desensibilizzati	a	a	0
4.2		Materie del gruppo di imballaggio I	3000	a	b
4.3		Materie del gruppo di imballaggio I	3000	a	b
5.1		Liquidi comburenti del gruppo di imballaggio I	3000	a	b
		Perclorati, nitrato d'ammonio e fertilizzanti a base di nitrato d'ammonio e nitrato di ammonio in emulsione, sospensione o gel	3000	3000	b
6.1		Materie tossiche del gruppo di imballaggio I	0	a	0
6.2		Materie infettanti di Categoria A (UN 2814 e 2900, a eccezione del materiale animale)	a	0	0
-					
8		Materie corrosive del gruppo di imballaggio I	3000	a	b

*a. Non applicabile.*

*b. Le disposizioni del 1.10.3 del RID non sono applicabili, quale sia la quantità*

*c. Un valore indicato in questa colonna si applica soltanto se è autorizzato il trasporto in cisterna*

*conformemente alla colonna (10) o (12) della Tabella A del capitolo 3.2 del regolamento. Per le materie che non sono autorizzate al trasporto in cisterna, l'indicazione in questa colonna è senza oggetto.*

*d. Un valore indicato in questa colonna si applica soltanto se è autorizzato il trasporto alla rinfusa conformemente alla colonna (10) o (17) della Tabella A del capitolo 3.2 del RID. Per le materie che non sono autorizzate al trasporto alla rinfusa, l'indicazione in questa colonna non è pertinente.*

- La classificazione e le disposizioni particolari per le diverse classi di merce pericolose
- I metodi di prova da utilizzare per la classificazione delle merci pericolose
- La lista completa delle merci pericolose, con le disposizioni speciali, le esenzioni relative alle merci pericolose imballate in quantità limitate e in quantità esenti
- Disposizioni relative alla utilizzazione di imballaggi e di cisterne
- Disposizioni riguardanti le procedure di spedizione, in particolare:
  - Marcatura ed etichettatura
  - Documentazione
  - Disposizioni speciali
- Prescrizioni relative alla costruzione e alle prove di imballaggi, contenitori intermedi per il trasporto alla rinfusa, grandi imballaggi e cisterne
- Disposizioni concernenti le condizioni di trasporto in colli, alla rinfusa, in cisterne, il carico, lo scarico e la movimentazione

Ad oggi il RID è un allegato (allegato C) alla COTIF (*Convenzione relativa ai trasporti internazionali ferroviari*) e l'attuale versione è in vigore dal 1° gennaio 2021 e obbligatoria dal 1° luglio 2021 come recepimento della direttiva (UE) 2020/1833 della Commissione, che modifica gli allegati della direttiva 2008/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa al trasporto interno di merci pericolose al fine di tenere in considerazione il progresso scientifico e tecnologico.

## 2.5.2 APPROFONDIMENTO – IL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE VIA FERROVIA IN ITALIA

Il trasporto ferroviario di merce pericolosa rappresenta una quota non trascurabile del trasporto totale di merci pericolose in Italia e per la sua natura riveste una particolare importanza nel trasporto delle merci; infatti negli anni si sono verificati diversi incidenti con importanti conseguenze alle persone coinvolte e all'ambiente circostante. Probabilmente il più noto incidente ferroviario riguardante merci pericolose della storia recente è l'incidente ferroviario di Viareggio, 2009: il cedimento strutturale della boccola di una asse di un carrello del treno merci trasportante cisterne di GPL provocò il deragliamento del treno stesso, con la successiva esplosione ed incendio di 14 cisterne. L'esplosione avvenne in prossimità della stazione di Viareggio e causò in totale 32 morti, 25 feriti oltre alla distruzione e al crollo di edifici nelle zone limitrofe dell'incidente.

Secondo quanto riporta il Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti (CNIT), nel 2018 Mercitalia Rail ha trasportato circa 670 milioni di tonnellate-km di merci pericolose, pari a circa il 6% del proprio volume nazionale complessivo. La seguente tabella riporta le quantità di merci pericolose trasportate classificate in base alle categorie RID nel 2018:

Tabella 2 - Sostanze pericolose trasportate in Italia, 2018

Codice RID	Descrizione RID	2018	
		Migliaia di Tkm	Percorrenza media (km)
1	Esplosivi	203	273
2	Gas, compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione	203.804	352
3	Materie liquide infiammabili	148.936	257
7	Materie radioattive		
8	Materie corrosive	68.969	335
9	Sostanze pericolose diverse	174.522	257
4.1	Materie solide infiammabili	4.915	285
4.2	Materie soggette a combustione spontanea	790	234
4.3	Materie che, a contatto con l'acqua, sviluppano gas infiammabili	3.265	378
5.1	Sostanze comburenti	8.991	205
5.2	Perossidi organici	62	171

6.1	Sostanze tossiche	54.944	248
6.2	Sostanze infettanti		
Totale		669.401	291

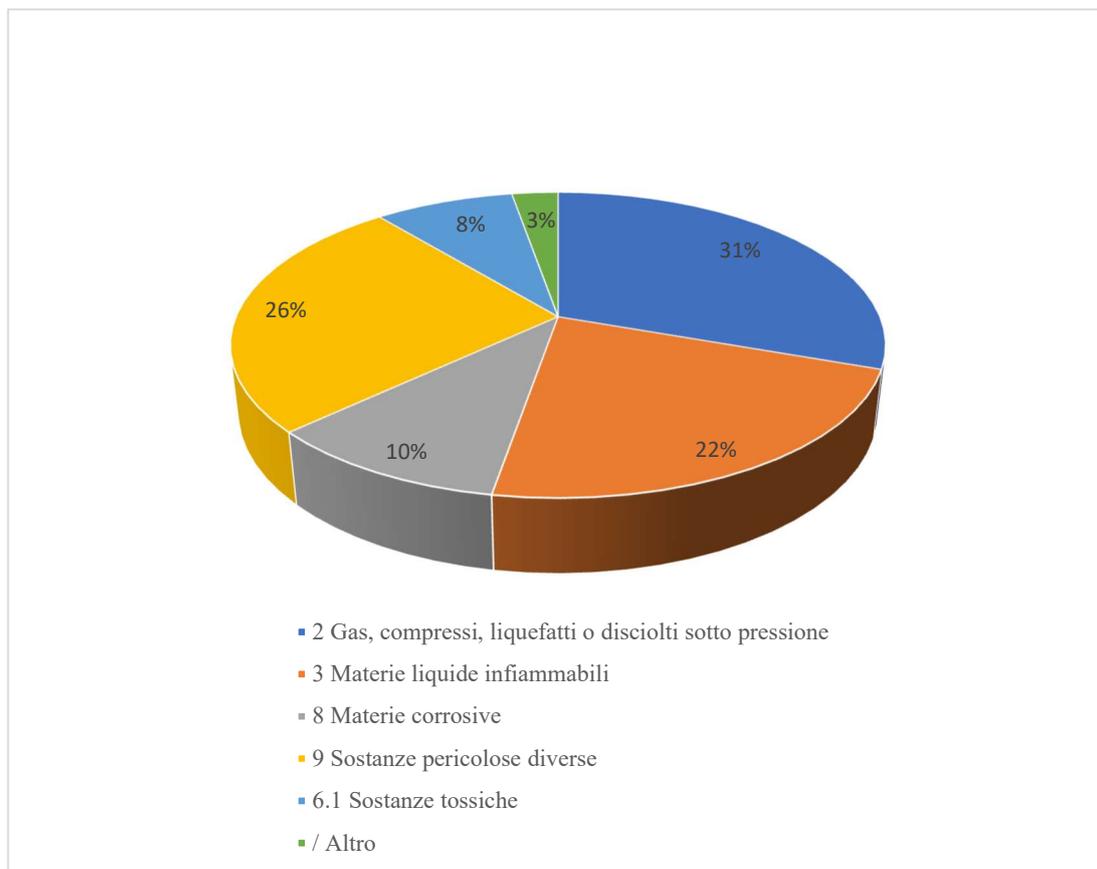


Figura 1 - Tkm di merce pericolosa trasportata via ferrovia, 2018

Dal grafico si può notare come la categoria RID maggiormente trasportata in termini di Tonnellate-km sia quella dei gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione (31% del totale), seguita rispettivamente da sostanze pericolose diverse (26%), materie liquide infiammabili (22%), materie corrosive (10%), sostanze tossiche (8%); la somma delle altre categorie RID rimanenti rappresenta invece il restante 3% rispetto al totale.

## 2.6 ADR – TRASPORTO STRADALE

### 2.6.1 INTRODUZIONE

L'ADR è stato redatto a Ginevra il 30 settembre 1957 sotto la direzione della Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE) ed è entrato in vigore il 29 gennaio 1968.

Il regolamento serve a garantire che le merci pericolose, che transitano su strada attraverso differenti Paesi, siano trasportate in modo adeguato al fine di garantire la massima sicurezza. Tale accordo si applica a tutti i trasporti effettuati, anche solo in transito, sul territorio di almeno due Paesi contraenti, con esclusione dei trasporti effettuati con veicoli delle forze armate di un Paese contraente dell'accordo. La normativa ADR specifica quali materie pericolose sono escluse dal trasporto internazionale e quali, invece, sono ammesse a certe condizioni.

In Italia, il trasporto delle merci pericolose su strada è regolato dalle seguenti norme:

- D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285, nuovo Codice della Strada, art. 168;
- DPR 1° dicembre 1992 n. 495, regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della Strada;
- DM 4 settembre 1996, con cui è stata recepita la direttiva n. 94/55/CE e che ha reso obbligatorio dal 1° gennaio 1997 il rispetto delle prescrizioni dell'ADR anche per i trasporti effettuati all'interno del territorio nazionale;
- DM 15 maggio 1997, con il quale sono stati recepiti nel nostro ordinamento gli emendamenti all'accordo ADR, di cui alla direttiva n. 96/86/CE (che ha adeguato al progresso tecnico la direttiva n. 94/55/CE), a far data dal 1° gennaio 1997, ma con validità dal 1° luglio 1997;
- successivi decreti, ogni due anni, con i quali sono state recepite le varie direttive comunitarie di adeguamento del progresso tecnico dell'ADR;
- l'ultima direttiva in tal senso è la n. 1833/20 del 2 ottobre 2020, relativa all'ADR 2021, pubblicata il 1° gennaio 2021 ed obbligatoria dal 1° luglio 2021.

## 2.6.2 FORMAZIONE PROFESSIONALE

Relativamente alla formazione professionale dei conducenti, essa è disciplinata dall'ADR nel capitolo 8.2 relativo all'equipaggio del veicolo e dal DM 12 gennaio 2009. È previsto che i conducenti dei veicoli destinati ai trasporti nazionali ed internazionali di merci pericolose su strada, devono essere muniti di apposito certificato di formazione professionale previsto dall'ADR, noto anche come "patentino ADR". I conducenti conseguono il patentino dopo aver seguito i corsi di formazione ed aver superato i relativi esami scritti mediante l'utilizzo di questionari. Il certificato di formazione professionale ha una validità massima di cinque anni. Nell'anno che precede le relative scadenze, tutti i conducenti potranno ottenere

il rinnovo del patentino esclusivamente se superano il corso di aggiornamento ed i successivi esami scritti corrispondenti alla formazione posseduta.

I corsi di formazione previsti sono:

- corso base, per l'abilitazione al trasporto di merci pericolose con modalità diverse da quelle in cisterna, con esclusione delle materie appartenenti alle classi 1 (esplosivi) e 7 (radioattivi). La formazione di questo corso comprende anche esercitazioni pratiche effettuate di persona dal candidato;
- corso di specializzazione per il trasporto di materie pericolose in cisterna;
- corso di specializzazione per il trasporto di materie esplosive e talune materie radioattive.

Il certificato di formazione professionale è obbligatorio sia per i trasporti nazionali che per quelli internazionali, con veicoli con qualsiasi massa complessiva a pieno carico per quantitativi superiori a quelli di esenzione indicati nel capitolo 1.1.3.6 del regolamento. Già dal 1° gennaio 2007 (per effetto dell'ADR 2005) l'obbligo del patentino è stato esteso a tutti i veicoli, compresi quindi anche per i conducenti di veicoli con massa complessiva a pieno carico inferiore a 3,5 tonnellate.

Il conducente del veicolo adibito al trasporto di materie pericolose ha l'obbligo di verificare l'efficienza del veicolo, del quale assume con la guida la piena responsabilità, di accertarsi che il carico anche se effettuato da altri, sia contenuto nei limiti della portata e della normale prudenza e disporre che la sistemazione di esso sia effettuata in modo da prevenire i pericoli di dispersioni o di caduta lungo la strada e da sopportare tutte le prevedibili accidentalità della circolazione, quali le brusche frenate, le curve a gomito, i dislivelli del fondo stradale, ecc.

Non solamente i conducenti dei mezzi per TMP sono tenuti a seguire la formazione per svolgere il loro lavoro, infatti anche ogni persona le cui funzioni riguardano attività diverse dal mero trasporto di merci pericolose su strada, ma ad esse connesse, devono aver ricevuto una formazione riguardante le prescrizioni che regolano il trasporto di tali merci, secondo la loro responsabilità ed i loro compiti, ai sensi del capitolo 8.2.3 dell'ADR. Questa prescrizione si applica per esempio al personale impiegato dal trasportatore o dallo speditore, al personale che carica o scarica le merci pericolose, al personale che lavora per i depositi intermedi e caricatori ed ai conducenti di veicoli diversi da quelli che detengono un certificato di formazione professionale ADR, che partecipano ad un trasporto di merci

pericolose su strada. Con l'edizione 2001 dell'ADR sono state definite le responsabilità degli altri soggetti coinvolti nel trasporto (capitolo 1.4.2) sia a livello principale, come speditore, trasportatore, destinatario e scaricatore (ADR 2011), sia a livello secondario, come caricatore, confezionatore, riempitore ed operatore sulle cisterne. Con l'ADR 2013 la corretta fissazione del carico viene considerata soddisfatta quando le merci trasportate sono fissate secondo la norma EN 12195-1:2010, la quale determina anche il numero preciso di cinghie che devono essere utilizzate, coinvolgendo in tale responsabilità sia il vettore, che a bordo del veicolo deve disporre di tali attrezzature, sia il caricatore che dovrà controllare la presenza e l'idoneità degli strumenti di fissaggio prima di iniziare il carico stesso sul veicolo (utili, in tal senso, le linee guida dell'Unione europea alla corretta fissazione del carico).

### 2.6.3 IL CONSULENTE PER LA SICUREZZA

Una figura molto importante per la sicurezza del trasporto delle merci pericolose è quella del consulente per la sicurezza, infatti ai sensi del capitolo 1.8.3 dell'ADR, ogni impresa la cui attività comporta trasporti di merci pericolose per strada, oppure operazioni di carico, scarico, riempimento o imballaggio connesse a tali trasporti, deve designare un consulente per la sicurezza dei trasporti di merci pericolose, non necessariamente dipendente dell'azienda. I compiti del consulente sono quelli di verificare l'osservanza delle disposizioni in materia di trasporto merci pericolose, consigliare l'impresa nelle relative operazioni, provvedere alla redazione di una relazione annuale (entro il mese di febbraio, successivo all'anno di riferimento) e di una in caso di incidente. Anche per il consulente è necessaria una formazione obbligatoria.

### 2.6.4 DOCUMENTAZIONE NECESSARIA PER IL TMP

L'ADR definisce anche quale debba essere la documentazione necessaria per il trasporto, in particolare il conducente di un veicolo che trasporta merci pericolose in regime ADR, secondo la normativa attualmente in vigore, deve essere munito dei seguenti documenti:

- carta di circolazione del veicolo;
- certificato speciale di approvazione ADR del veicolo, c.d. "barrato rosa" (ora anche per i trasporti nazionali, oltre che per gli internazionali per i quali era già obbligatorio);
- patentino ADR (CFP);
- licenza di pubblica sicurezza per il trasporto di gas tossici (ove prevista);
- documento di trasporto;

- consegne scritte di sicurezza (c.d. istruzioni di sicurezza o trem card); le istruzioni scritte devono corrispondere per forma e contenuto all'apposito modello previsto nel formato di quattro pagine: esse prevedono delle misure comuni (frenare il veicolo, non camminare sulle sostanze sparse per terra, avvertire i soccorsi, ecc.) e delle indicazioni supplementari in funzione della caratteristica del prodotto trasportato.

### 2.6.5 ATTREZZATURE A BORDO DEI VEICOLI

All'interno del Regolamento vengono specificati anche le attrezzature necessarie a bordo dei veicoli di TMP per l'estinzione degli incendi, in particolare devono essere presenti:

- almeno un estintore di 2 kg (preferibilmente a polvere chimica) atto a combattere l'incendio del motore o della cabina del veicolo (tale estintore è richiesto anche per unità di trasporto che operano in regime di esenzione ai sensi del capitolo 1.1.3.6);

Inoltre:

- per le unità di trasporto aventi massa complessiva superiore a 7,5 tonnellate, devono essere presenti anche uno o più estintori portatili, di una capacità minima totale di 12 kg in polvere e di cui almeno un estintore abbia una capacità minima di 6 kg;
- per le unità di trasporto con massa complessiva superiore a 3,5 tonnellate ma inferiore o uguale a 7,5 tonnellate, devono essere presenti anche uno o più estintori portatili di una capacità minima totale di 8 kg in polvere e di cui almeno un estintore abbia una capacità minima di 6 kg;
- per le unità di trasporto aventi una massa complessiva inferiore o uguale a 3,5 tonnellate, devono essere presenti anche uno o più estintori portatili supplementari con una capacità minima di 2 kg in polvere.

Oltre ai dispositivi per l'estinzione degli incendi ogni mezzo deve essere dotato di:

- appositi accorgimenti riguardanti l'impianto elettrico (staccabatterie, protezione degli accumulatori, canalizzazione dei circuiti elettrici) atti a prevenire o ridurre gli incidenti;
- altre attrezzature varie (una lampada tascabile per ogni membro dell'equipaggio, un paio di guanti per ogni membro dell'equipaggio, due segnali di avvertimento autoportanti quali coni o triangoli riflettenti o luci lampeggianti arancioni indipendenti dall'installazione elettrica del veicolo, un ceppo ferma ruote, un giubbotto fluorescente per ogni membro dell'equipaggio); per talune etichette di

pericolo, sono previsti anche del liquido per risciacquare gli occhi, una maschera di fuga, una pala, una protezione per tombini, un recipiente collettore di plastica.

## 2.6.6 FORME DI CONTENIMENTO

Ulteriori due fattori necessari per la sicurezza del trasporto sono in particolare per la protezione ed il contenimento delle merci pericolose. Nell'ambito del trasporto stradale, ed anche ferroviario, si possono individuare quattro tipologie di forme di contenimento:

1. trasporto in colli;
2. trasporto in GIR (Grandi Imballaggi per il trasporto alla Rinfusa);
3. trasporto alla rinfusa in cisterne e tank-container;
4. altre forme di trasporto (container, casse mobili, veicoli utilizzati nei trasporti intermodali).

### 1. Trasporto in colli

Per collo si intende l'insieme dell'imballaggio, ossia un recipiente e ogni altro elemento o materiale che svolge una funzione di contenimento di sostanze pericolose, e della merce pericolosa contenuta al suo interno, pronti per la spedizione. La norma si riferisce a contenitori con capacità fino a 400 kg o volume fino a 450 l. Sono escluse le merci pericolose appartenenti alle classi 2 (gas compressi, liquefatti, refrigerati, disciolti sotto pressione), 7 (materie radioattive) e 6.2 (sostanze infettanti), per le quali valgono norme specifiche.

Ogni imballaggio (eccetto per le classi 1, 2, 5.2, 6.2, 7) è contraddistinto da un gruppo, che può essere I, II o III. A seconda del gruppo di riferimento, gli imballaggi (individuati con le sigle X = gruppo I, Y = gruppo II e Z = gruppo III), sono sottoposti a test di controllo di severità crescente:

Tabella 3 - Gruppi di imballaggio

GRUPPO DI IMBALLAGGIO	SIGLA	CARATTERISTICHE
I	X	Imballaggi molto resistenti, adatti a contenere sostanze con alto grado di pericolosità.
II	Y	Imballaggi mediamente resistenti, adatti a contenere sostanze con medio grado di pericolosità.
III	Z	Imballaggi con basse caratteristiche di resistenza,

		adatti a contenere sostanze aventi un basso grado di pericolosità.
--	--	--------------------------------------------------------------------

## **2. Grandi Imballaggi per le Rinfuse (GIR)**

I contenitori intermedi per il trasporto alla rinfusa sono imballaggi mobili, rigidi o flessibili, resistenti alla movimentazione, con capacità non superiore a 3000 l (1500 l se fabbricati in plastica, legno o cartone e se contenenti solidi del gruppo d'imballaggio I).

Date le loro dimensioni, tali contenitori non si prestano a operazioni di carico e scarico manuale ma sono concepiti per una movimentazione meccanica o predisposti per essere movimentati su pallet. A tali contenitori sono inoltre richieste caratteristiche di resistenza al deterioramento da agenti atmosferici e caratteristiche costruttive che evitino la fuoriuscita del contenuto nelle normali condizioni di trasporto. Come per gli imballaggi precedenti, anche i GIR sono suddivisi in gruppi analoghi.

## **3. Cisterne e tank container**

In ambito stradale viene definito trasporto in cisterne e tank container il trasporto di merci collocate in recipienti aventi volume superiore a 3000 l (1000 l per i gas). Le cisterne sono forme di contenimento fissate permanentemente alla struttura del veicolo stradale, mentre i tank container (contenitori cisterna) sono fissati al veicolo o al vagone con appositi sistemi di aggancio normalizzati secondo le norme ISO.



*Figura 2 - Autocisterna*



*Figura 3 - Tank container*

Queste forme di contenimento devono essere sottoposte a controlli iniziali e periodici da parte degli organismi preposti alla certificazione dell'idoneità costruttiva, secondo quanto prescritto dalla normativa ADR e RID.

#### **4. Altre forme di contenimento**

Per altre forme di contenimento si intendono le seguenti strutture:

- Container: sono destinati a creare unità di carico uniformi, movimentabili solo con mezzi meccanici e destinati prevalentemente al trasporto di merci imballate. Essi rappresentano un elemento fondamentale nella catena logistica dell'intermodalità;
- Casse mobili: hanno strutture simili ai container. Non sono ammesse ai trasporti internazionali lunghi via mare: l'impiego è prevalentemente circoscritto in ambito stradale e ferroviario, sui percorsi marittimi nazionali e su quelli internazionali brevi, previa autorizzazione da parte delle Autorità addette;
- Veicoli utilizzati nei trasporti intermodali.

## 2.6.7 SEGNALI PER IL RICONOSCIMENTO E L'INDIVIDUAZIONE DELLE MERCI PERICOLOSE

Un'importante caratteristica dei veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose è quella relativa al loro segnalamento e riconoscimento, infatti tutti i veicoli per il TMP devono essere muniti di due pannelli rettangolari di colore arancione, retroriflettenti, fissati sul fronte e sul retro del mezzo (capitolo 5.3 ADR). Nel caso in cui i veicoli fossero dotati di cisterne fissi o amovibili, di containers-cisterna, di batterie di recipienti, di contenitore per materie solide alla rinfusa, sul pannello arancione, posizionato nell'appropriata posizione, dovranno apparire i numeri di identificazione che figurano in corrispondenza delle merci per le quali è consentito il trasporto con queste modalità; il numero di identificazione del pericolo deve apparire nella parte superiore del pannello (numero di Kemler) e quello di identificazione della materia nella parte inferiore dello stesso pannello (numero Onu), che risulta, quindi, diviso in due parti da una linea orizzontale nera. Il numero Kemler-Onu identifica il tipo di materia trasportata ed il tipo di pericolosità della stessa. In caso di incidente la tempestiva comunicazione ai Vigili del Fuoco dei numeri riportati sul pannello consente di stabilire rapidamente le modalità del tipo di intervento. In particolare, il numero Kemler è composto da due o tre cifre, la prima cifra indica il pericolo principale e/o anche la classificazione della materia:



*Figura 4 - Esempio numero Kemler (1)*

- 2 gas
- 3 liquido infiammabile
- 4 solido infiammabile
- 5 materia comburente o perossido organico
- 6 materia tossica
- 7 materia radioattiva
- 8 materia corrosiva
- 9 materia pericolosa diversa

La seconda e terza cifra identifica il/i pericolo/i secondari, ovvero pericoli ulteriori legati alla classe:



*Figura 5 - Esepio numero Kemler (2)*

- 0 materia non ha pericolo secondario
- 1 esplosione
- 2 emissione di gas per pressione o reazione chimica
- 3 infiammabilità
- 5 proprietà comburenti
- 6 tossicità
- 8 corrosività
- 9 pericolo di esplosione violenta dovuta a decomposizione spontanea od a polimerizzazione

Il numero di identificazione del pericolo, preceduto dalla lettera X indica che la materia reagisce pericolosamente con l'acqua:



*Figura 6 - Numero di identificazione del pericolo con sostanza che reagisce pericolosamente con l'acqua*

Nella parte inferiore della tabella è presente il numero ONU, un numero di quattro cifre che identifica materiali pericolosi in base alla denominazione chimica ed alla sua classificazione. Il numero ONU è il principale strumento per far conoscere agli addetti ai lavori (caricatori, autisti, organi di controllo e soccorso) qual è la materia trasportata. Il numero ONU (solo il numero e non il pannello) può comparire anche sui colli, sul documento di trasporto e/o sull'istruzione di sicurezza.



*Figura 7 - Numero ONU*

Sui veicoli a cisterne fisse o amovibili, nonché su quelli che trasportano merci pericolose in colli (classi 1 e 7) oppure grandi contenitori e per il trasporto di merci alla rinfusa, è obbligatorio apporre in aggiunta le etichette di pericolo al fine di rendere più facile l'individuazione della materia trasportata. Queste etichette sono di forma quadrata con almeno 250 mm di lato, devono essere posizionate di punta ed essere conformi a quanto stabilito dalla classe di pericolo di ogni materia pericolosa e riportare anche il numero di classe. Le etichette di pericolo da incollare sull'imballo (da 100 mm. di lato) possono essere più di una a seconda della classificazione del prodotto in esso contenuto.

Le funzioni principali delle segnalazioni di pericolo a etichette e pannelli sono:

- Informare gli addetti che si stanno trasportando merci pericolose ADR, e ai non addetti che vi sono potenziali pericoli;
- fornire un messaggio molto preciso e dettagliato anche ad eventuali organi di soccorso e/o emergenza;
- fornire un messaggio universale in quanto sono costituite da disegni comprensibili a tutti.

#### 2.6.8 MARCATURA DEI VEICOLI

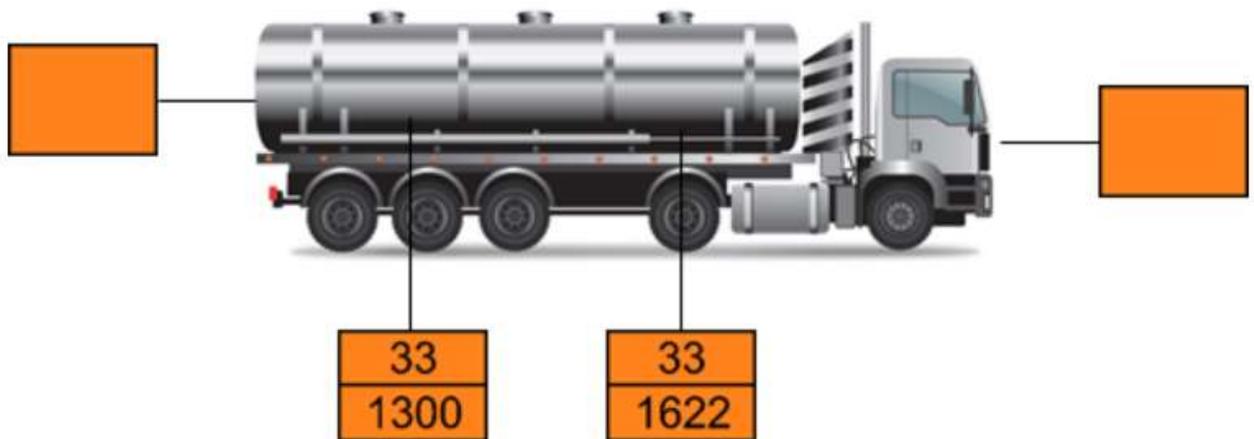
La posizione dei pannelli e delle etichette di pericolo è regolamentata dall'ADR; in particolare, le etichette di pericolo (salvo limiti esenzione trasporto in colli) vanno affisse sulla superficie esterna di:

- veicoli trasportanti colli della classe 1 e della classe 7;
- veicoli trasportanti merce pericolosa alla rinfusa;
- veicoli cisterna;
- veicoli batteria di recipienti;
- container;

- cisterne;
- contenitori multipli per gas;
- unità mobili di preparazione esplosivi.

I pannelli devono essere retroriflettenti, omologato, apposti davanti e dietro al veicolo e anche lateralmente nel caso di trasporto di più merci pericolose. Per quanto riguarda un criterio per l'utilizzazione dei pannelli di pericolo:

- quando si trasportano merci confezionate, ossia contenute in colli o in altri imballaggi, sono sufficienti i pannelli di segnalazione arancio senza codici;
- quando invece si trasportano solidi alla rinfusa o liquidi in cisterne, occorrono anche i pannelli di identificazione del pericolo



*Figura 8 - Esempio di etichettatura veicolo cisterna monocomparto*

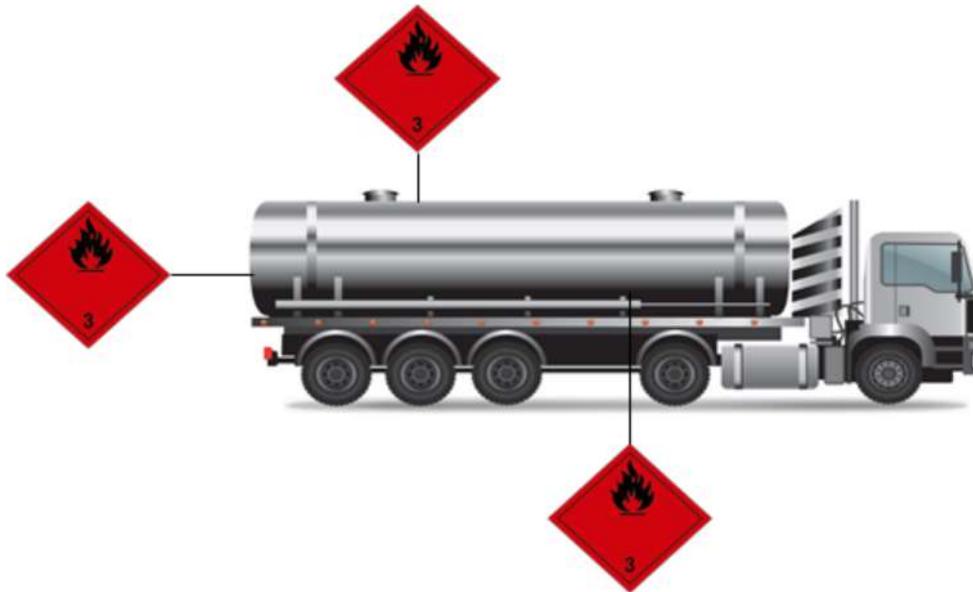


Figura 9 - Esempio pannellatura veicolo cisterna 2 scomparti

Di seguito si riportano alcuni esempi di marcatura dei veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose:

- ***Veicolo trasportante colli di tutte le classi, escluse classi 1 e 7:***

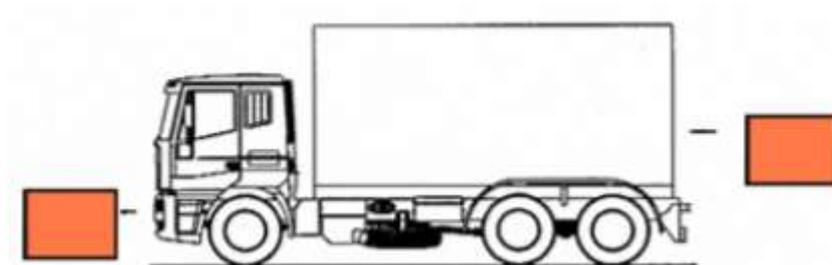


Figura 10 - Veicolo per colli di tutte le classi (escl. 1 e 7)

I pannelli, posti nella parte anteriore e posteriore del veicolo, sono generici e non devono essere esposte le etichette di pericolo, anche se il mezzo è caricato completamente di imballi o colli.

- **Veicolo cassonato, telonato o furgonato per trasporto delle classi 1 e 7:**

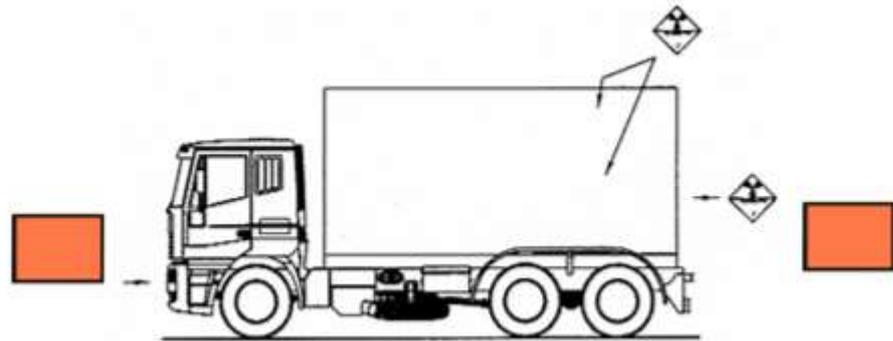


Figura 11 - Veicolo cassonato, telonato o furgonato per trasporto classi 1 e 7

Come il caso precedente con aggiunta delle etichette richieste dalla classe di pericolo, una per ogni lato più una posizionata posteriormente.

- **Veicolo carico con container box per il trasporto colli:**

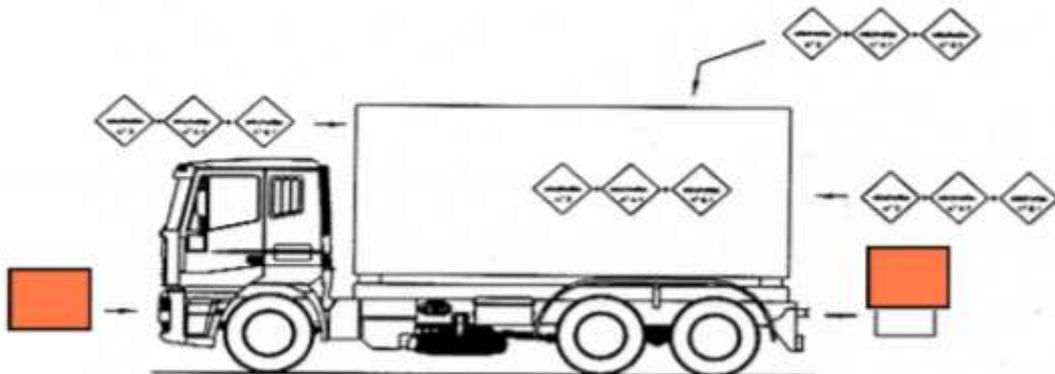


Figura 12 - Veicolo carico con container box per il trasporto colli

I pannelli generici vanno posti nella parte anteriore e posteriore dell'autoveicolo. Inoltre, viene applicata nei quattro lati del container una etichetta per ogni classe caricata all'interno.

- **Contentore o cassa mobile per il trasporto di merci alla rinfusa:**

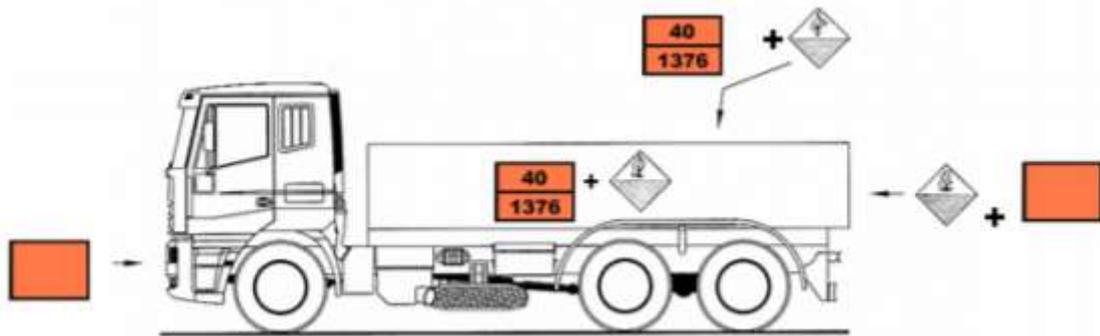


Figura 13 - Veicolo con contenitore o cassa mobile per il trasporto di merci alla rinfusa

Sul veicolo si applicano pannelli generici posti nella parte anteriore e posteriore. Sul contenitore invece si applicano due pannelli numerati (1 per lato) e quattro etichette, queste richieste dalla classe di pericolo, sui lati, sulla parte anteriore e posteriore.

- **Veicolo cassonato trasportante merce alla rinfusa:**

Nel caso di carrozzeria fissa o ribaltabile possono essere utilizzati due modi di segnalazione della merce pericolosa:

- 1° modo di segnalazione:

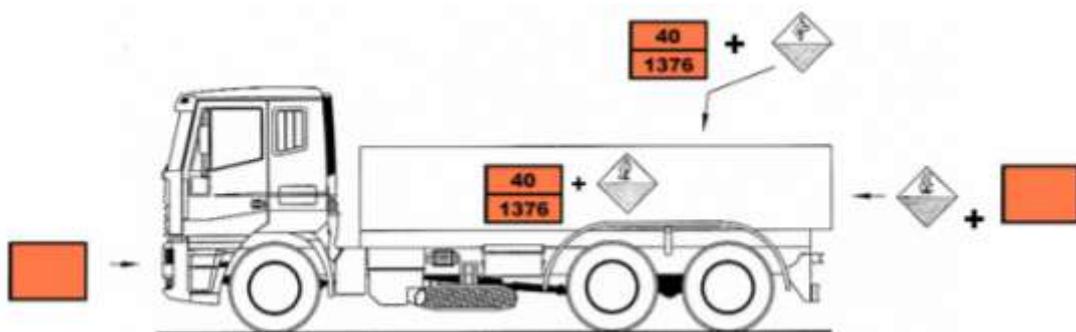


Figura 14 - Veicolo cassonato trasportante merce alla rinfusa, metodo 1

Pannelli generici posti nella parte anteriore e posteriore. Pannelli numerati (con numero di pericolo o Kemler in alto e numero ONU in basso) posti lateralmente sul lato sinistro e su quello destro. Etichette richieste dalla

classe di pericolo poste una per ogni lato più una applicata nella parte posteriore.

- 2° modo di segnalazione:

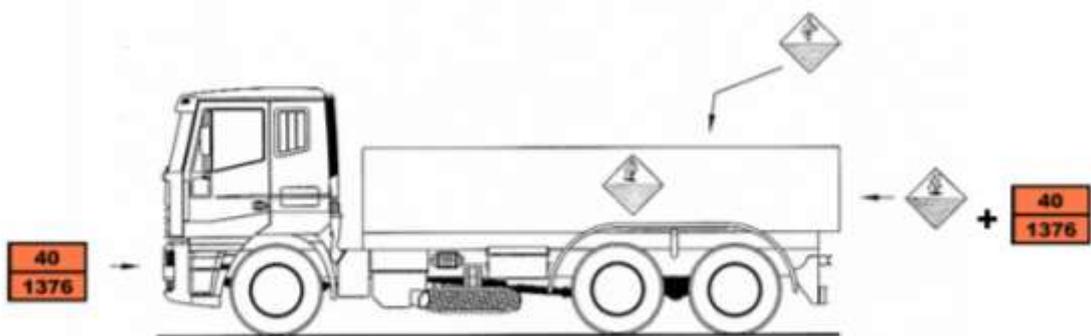


Figura 15 - Veicolo cassonato trasportante merce alla rinfusa, metodo 2

Pannelli numerati (con numero di pericolo o Kemler in alto e numero ONU in basso) posti nella parte anteriore e posteriore. Etichette richieste dalla classe di pericolo poste una per ogni lato più una applicata nella parte posteriore.

**Veicolo cisterna mono scomparto o veicolo con batteria di recipienti:**

- 1° modo di segnalazione:

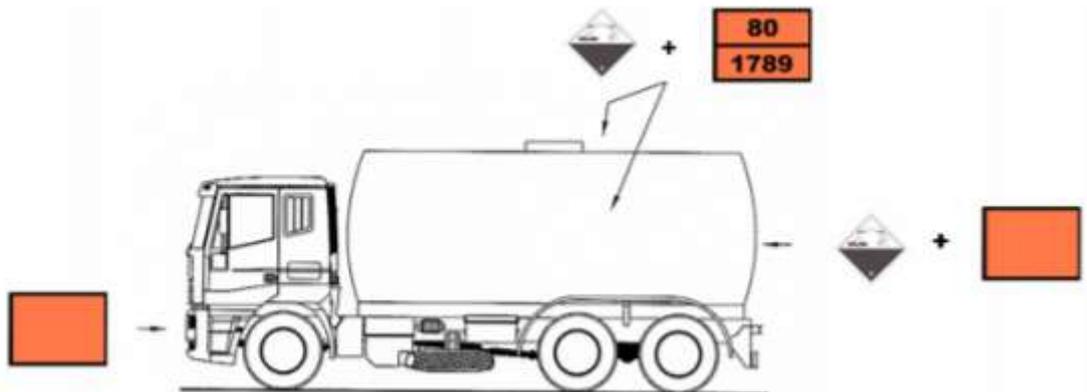


Figura 16 - Veicolo cisterna mono scomparto o veicolo con batteria di recipienti, metodo 1

Pannelli generici posti nella parte anteriore e posteriore. Pannello laterale numerato (con numero di pericolo o Kemler in alto e numero ONU in basso)

sia a destra che a sinistra. Etichette richieste dalla classe di pericolo, una per ogni lato ed una sulla parte posteriore.

- 2° modo di segnalazione:

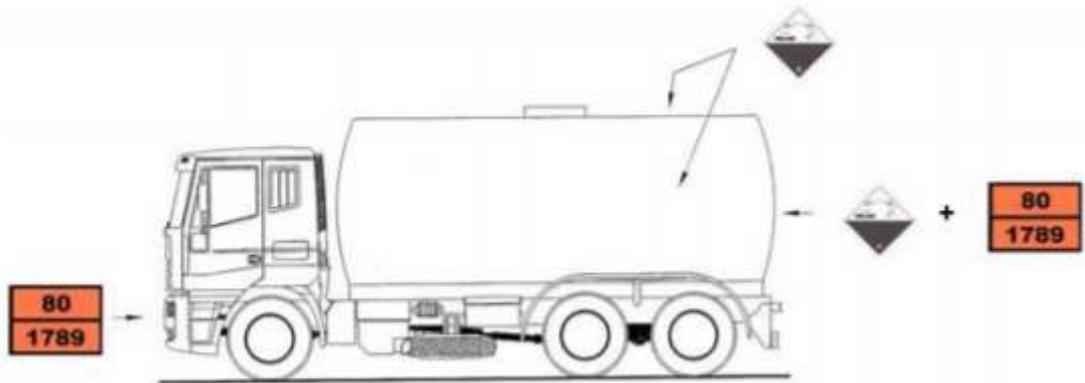


Figura 17 - Veicolo cisterna mono scomparto o veicolo con batteria di recipienti, metodo 2

Pannelli numerati (con numero di pericolo o Kemler in alto e numero ONU in basso), nella parte anteriore e posteriore. Etichette richieste dalla classe di pericolo, una per ogni lato più una applicata nella parte posteriore.

- ***Veicolo cisterna con scomparti multipli:***

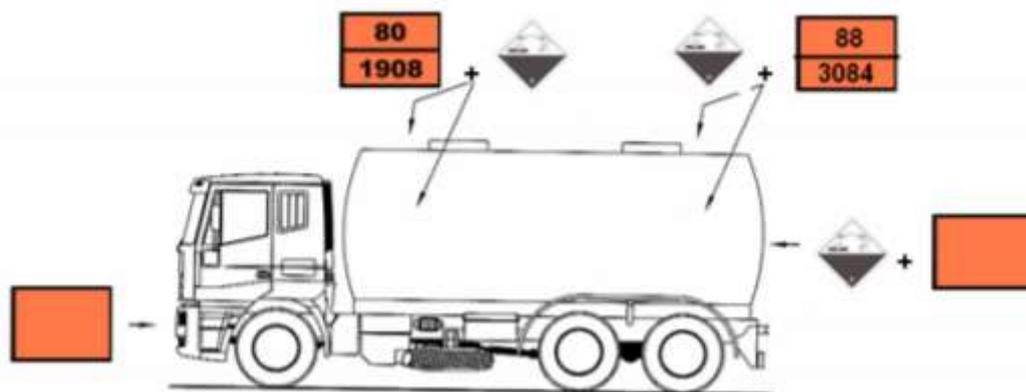


Figura 18 - Veicolo cisterna con scomparti multipli

In questa configurazione i pannelli generici sono posti nella parte anteriore e posteriore. I pannelli numerati (con numero di pericolo o Kemler in alto e numero ONU in basso) sono posti lateralmente a destra e a sinistra per ogni scomparto o cisterna ed infine le etichette richieste dalla classe di pericolo sono applicate una per ogni lato e una nella parte posteriore del mezzo.

Qualora si dovesse trasportare una sola materia pericolosa, anche se in più scomparti, si può effettuare la segnalazione con i soli pannelli numerati posti nella parte anteriore e posteriore dell'unità di trasporto e con le etichette poste lateralmente e nella parte posteriore.

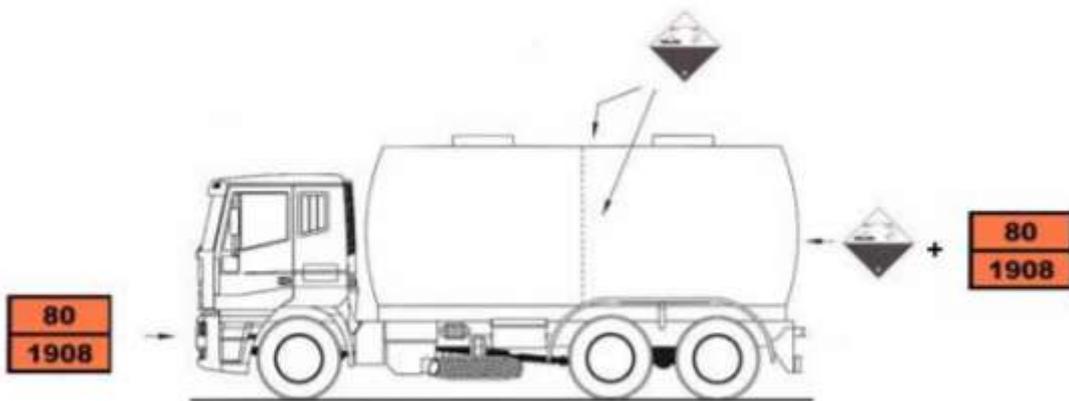


Figura 19 - Veicolo cisterna con scomparti multipli, trasportante una sola materia pericolosa

- ***Veicolo cisterna a più scomparti trasportanti 2 o più carburanti identificati con i numeri ONU 1202, 1203 o 1223:***

Nel caso di trasporto esclusivo delle materie sopra riportate, si possono non rispettare le regole prima citate segnalando come sotto specificato. Ovvero gli autisti:

- Possono non esporre i pannelli arancioni sui lati di ogni scomparto della cisterna, se segnalano la materia più pericolosa sui due pannelli numerati (uno sulla parte anteriore uno su quella posteriore).

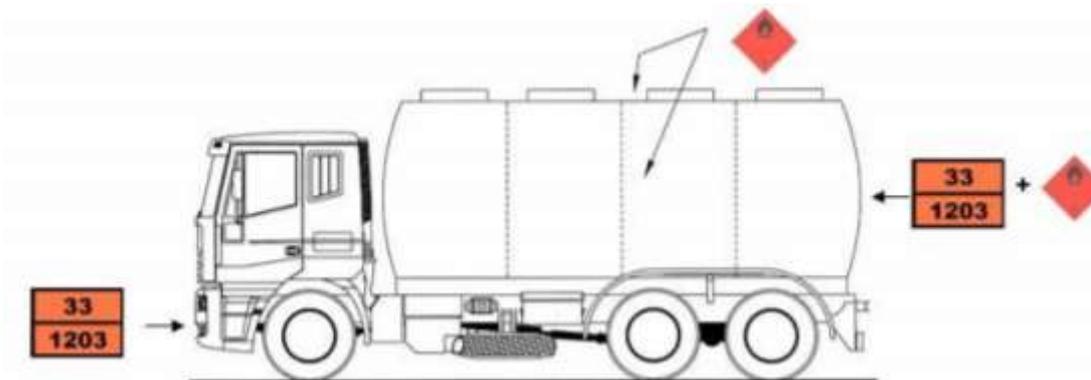


Figura 20 - Veicolo cisterna a più scomparti trasportanti 2 o più carburanti identificati con i numeri ONU 1202, 1203 o 1223

- Oppure possono esporre i numeri d'identificazione relativi alle diverse materie, sui pannelli posti sui lati dello scomparto che le contiene. Questa configurazione è comunque corretta anche se risulta più complessa e laboriosa:

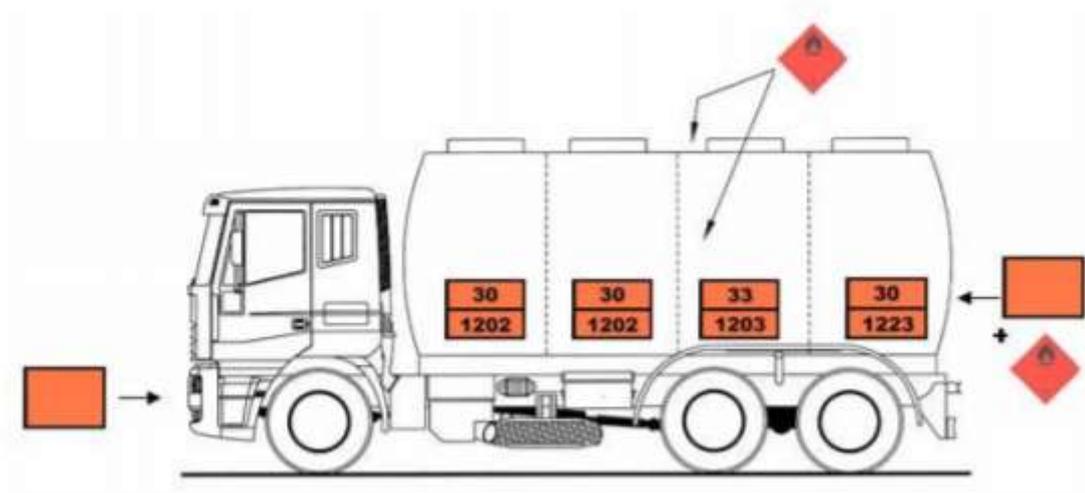


Figura 21 - Veicolo cisterna a più scomparti trasportanti 2 o più carburanti identificati con i numeri ONU 1202, 1203 o 1223

## 2.7 NORMA UNI EN ISO 39001 – SISTEMI DI GESTIONE DELLA SICUREZZA STRADALE

La norma UNI EN ISO 39001 è lo standard internazionale per la gestione della sicurezza stradale, compresi tutti gli aspetti della gestione del rischio e della conformità legislativa. Con l'implementazione di un sistema di gestione RTS – Road Traffic Management System certificato ISO 39001, l'organizzazione contribuisce attivamente alla riduzione del rischio di incidenti gravi in relazione al traffico stradale.

Un sistema di gestione sicurezza stradale è uno strumento che consente, all'organizzazione che lo ha implementato, la corretta gestione ed il monitoraggio costante di tutte le attività e processi ad esse correlate. L'azienda può in questo modo monitorare il numero di infortuni gravi e mortali derivanti da collisioni stradali, controllando e gestendo tutto quanto sia sotto la propria influenza e controllo. Infatti, l'obiettivo della ISO 39001 è quello di contribuire a migliorare nel tempo i livelli di sicurezza stradale. Il Sistema di gestione RTS ha come scopo ultimo la prevenzione, il controllo, il monitoraggio dei rischi ed il miglioramento continuo delle prestazioni in materia di sicurezza stradale. Essa è facilmente integrabile con altre norme di gestione di sistemi (ISO 9001: *Sistemi di gestione per la qualità - Requisiti*, ISO 14001: *requisiti di un sistema di gestione ambientale*, ISO 45001: *Sistemi di gestione per la salute e sicurezza sul lavoro – Requisiti e guida per l'uso*) ed è, di fatto, uno strumento per migliorare il rispetto delle norme cogenti. Inoltre, la norma ISO 39001 è diventata un punto di riferimento in materia di sicurezza stradale anche perché richiamata nel Piano Nazionale della Sicurezza Stradale con orizzonte 2020 (PNSS Orizzonte 2020) emesso dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti.

L'implementazione di un sistema di gestione per la sicurezza stradale secondo la norma ISO 39001 passa attraverso le seguenti fasi operative:

- Verifica della situazione organizzativa dell'impresa e stesura di un rapporto di Gap Analysis;
- Predisposizione del Piano di Azioni per implementare i requisiti richiesti dalla norma ISO 39001;
- Predisposizione delle procedure applicative previste dalla norma ISO 39001;
- Formazione ai Lavoratori sui requisiti della ISO 39001 e sulle buone pratiche di sicurezza stradale;
- Mantenimento per 12 mesi del Sistema di gestione 39001.

Inoltre, la ISO 39001 prevede che ogni azienda di trasporti prenda in considerazione, come requisito minimo, i seguenti fattori di rischio relativamente alle specifiche attività svolte su strada:

- L'impatto sul sistema di traffico stradale, sia per il trasporto merci che di passeggeri;
- L'impatto del traffico nell'ambito della costruzione, gestione, manutenzione di strade e servizi di soccorso stradale;
- Il numero di personale viaggiante, pendolari o dipendenti nel caso di trasporto di persone;
- Il numero di km percorsi da e per il luogo di lavoro e per i viaggi di lavoro;
- Il numero di siti e in particolare i siti che generano un alto volume di traffico;
- Il numero di incidenti, infortuni gravi e morti da collisione registrati;
- L'affidamento in outsourcing a terzi di attività a rischio.

## 2.8 DIRETTIVA 2008/68/CE

La direttiva 2008/68 del Parlamento Europeo e del Consiglio Europeo del 24 settembre 2008 si applica al trasporto di merci pericolose effettuato su strada, per ferrovia o per via navigabile interna all'interno degli Stati membri o tra gli stessi, comprese le operazioni di carico e scarico, il trasferimento da un modo di trasporto a un altro e le soste rese necessarie dalle condizioni di trasporto. Si sviluppa in 14 articoli all'interno dei quali vengono definite tra le altre cose le disposizioni generali, le limitazioni per motivi inerenti alla sicurezza durante il trasporto, le deroghe, le disposizioni transitorie, gli adattamenti, l'entrata in vigore e i destinatari della medesima direttiva. Inoltre, sono presenti tre allegati all'interno dei quali per le tre modalità di trasporto (su strada, per ferrovia, per vie navigabili interne) sono riportate tutte le deroghe concesse agli Stati membri per il trasporto di merci pericolose all'interno del loro territorio.

## 2.9 SCENARI INCIDENTALI RIGUARDANTI LE MERCI PERICOLOSE

### 2.9.1 INTRODUZIONE

Uno degli obiettivi del regolamento ADR è sicuramente quello di evitare il verificarsi di un incidente; la criticità del coinvolgimento di sostanze pericolose in uno scenario incidentale non dipende solamente dalla natura pericolosa intrinseca del materiale trasportato, ma anche dalle condizioni al contorno. Infatti, spesso accade che anche sostanze normalmente innocue

(ad esempio aria o azoto) possono diventare pericolose a causa dello stato di conservazione. Questo accade quando ad esempio si innesca un incendio di un contenitore al cui interno è presente un prodotto conservato in pressione: in questo scenario il principale pericolo deriva dall'eccessivo riscaldamento del contenitore che genera un contemporaneo aumento della pressione interna e una riduzione della resistenza meccanica del contenitore stesso. Di seguito verranno quindi descritti alcuni possibili scenari incidentali con le probabili evoluzioni che possono verificarsi.

### 2.9.2 EVOLUZIONE TEMPORALE DELLO SCENARIO INCIDENTALE

Lo scenario incidentale può evolvere nel tempo in funzione dei vari fattori da cui dipende. In particolare, le principali variabili che influenzano l'evoluzione di uno scenario sono:

- Caratteristiche intrinseche della sostanza coinvolta: in funzione di esse si possono presentare rischi derivanti dall'inflammabilità, esplosività e dalla tossicità della sostanza stessa;
- Stato fisico della sostanza: in funzione dello stato fisico e della modalità di conservazione del prodotto si possono avere in caso di fuoriuscita scenari e implicazioni completamente diversi;
- Quantitativo di prodotto fuoriuscito durante l'evento: in funzione del quantitativo di prodotto fuoriuscito dal contenitore e del contesto nel quale avviene l'evento si possono avere delle ripercussioni sull'approccio interventistico che bisogna attuare e sul rischio correlato;
- Condizioni meteorologiche: hanno un ruolo fondamentale sull'evoluzione di uno scenario incidentale, ad esempio l'azione del vento può produrre il rapido spostamento di una nube tossica rilasciata in seguito ad un incidente;
- Tipologia di ambiente nel quale avviene l'incidente: il contesto dell'evento incidentale comporta delle implicazioni sull'evoluzione dello scenario. Ad esempio, nel caso di rilascio accidentale di sostanza liquida, se la dispersione avviene su aree più o meno impermeabilizzate lo scenario assumerà un'evoluzione diversa.

### 2.9.3 PRINCIPALI SCENARI INCIDENTALI

In generale gli scenari possono essere suddivisi in due categorie in funzione degli effetti risultanti:

- Fenomeno con effetti principalmente termici

- Fenomeno con effetti principalmente meccanici

Per quanto riguarda la prima categoria si considerano i seguenti incidenti:

### **POOL FIRE (pozza di liquido incendiata) e TANK FIRE (incendio di serbatoio)**

Il fenomeno è caratterizzato soprattutto dalle dimensioni della pozza e produce effetti dannosi principalmente per irraggiamento. La pozza si sviluppa in genere per rotture importanti delle cisterne o su linee in fase liquida di sostanze infiammabili. A seguito dello sversamento, e in presenza di un innesco, si può avere la combustione della pozza.



*Figura 22 - Esempio di Pool Fire*

L'incendio derivante è in grado di sviluppare quantità di calore molto importanti che possono facilmente generare situazioni critiche per strutture in acciaio e in particolare per serbatoi in pressione posti in adiacenza o al disopra della pozza. Questo fenomeno può manifestarsi anche per perdite di gas liquefatto (tipo GPL) nel caso in cui la perdita di prodotto è cospicua e l'innesco è immediato.

L'incendio dei serbatoi è assimilabile ad un incendio da pozza circolare a quota in genere superiore a quella del piano di campagna. Anche in questo caso l'effetto principale è l'irraggiamento.

### **JET-FIRE (dardo di fuoco)**

Il dardo è la manifestazione di una fuoriuscita, da un'apertura su un contenitore o da una tubazione in pressione, di un liquido o un gas combustibile in pressione successivamente innescato. Il fenomeno è caratterizzato dalla direzione e dalle dimensioni del dardo stesso.



*Figura 23 - Esempio di jet-fire*

La lunghezza del jet-fire è funzione delle caratteristiche geometriche della luce di efflusso (dimensione della lesione o del foro) e dalla pressione interna del contenitore o della tubazione. La direzionalità del fenomeno rende minima l'area sottoposta ad irraggiamento ma esalta i possibili "effetti domino" (ovvero propagazione, con "reazione a catena", degli effetti di un primo incidente ad altri insediamenti o strutture limitrofe che generano a loro volta successivi scenari incidentali). Le quantità di calore in gioco non sono generalmente molto elevate e difficilmente possono provocare problemi per le strutture a meno che le superfici investite siano ridotte.

### **FLASH FIRE (incendio di vapori)**

Il Flash Fire rappresenta l'incendio di vapori effluenti a bassa velocità o a fase getto esaurita. La dispersione in aria di vapori infiammabili, per quantità limitate (1,5 t) e assenza di confinamento, se innescata provoca un fenomeno conosciuto come flash fire. Questa tipologia di evento non genera effetti meccanici rilevanti (onda di pressione), ma solo termici. Nel caso di dispersione di GPL, la zona potenzialmente danneggiabile è limitata all'area in cui è presente una miscela Aria-GPL in concentrazioni entro il 50% del limite inferiore di infiammabilità. Il fenomeno è caratterizzato, oltre che dalla quantità di GPL fuoriuscito, soprattutto dalla diffusione del vapore che, più pesante dell'aria, risente dei vari ostacoli e difformità del terreno (per situazioni di contenimento localizzato si possono avere gli effetti meccanici delle esplosioni confinate). Una volta esauritosi, il flash fire, si "trasforma" in jet o pool fire a seconda della situazione che lo ha originato.

### **BOIL OVER (ebollizione repentina di prodotto con proiezione e schizzi caldi)**

Il fenomeno del Boil Over rappresenta una violenta espulsione di liquido combustibile in fiamme da un serbatoio durante un incendio. Questa situazione di pericolo si presenta quando nel serbatoio, contenente idrocarburi, è presente dell'acqua dovuta alle operazioni di spegnimento. L'acqua, a causa del maggior peso specifico rispetto a quello degli idrocarburi e della non miscibilità con tali prodotti, si riversa sul fondo del serbatoio.



*Figura 24 – Boil over*

A causa dell'incendio la temperatura del liquido combustibile, sottostante l'interfaccia liquido-vapore, aumenta fino a temperature molto al disopra del punto di ebollizione dell'acqua. L'aumento di temperatura indotta dall'idrocarburo allo strato sottostante di acqua è sufficiente a provocare una sua rapida vaporizzazione e il conseguente aumento di volume (circa 1700 volte nel passaggio di stato liquido-vapore) che produce un'espulsione del combustibile incendiato fuori dal contenitore.

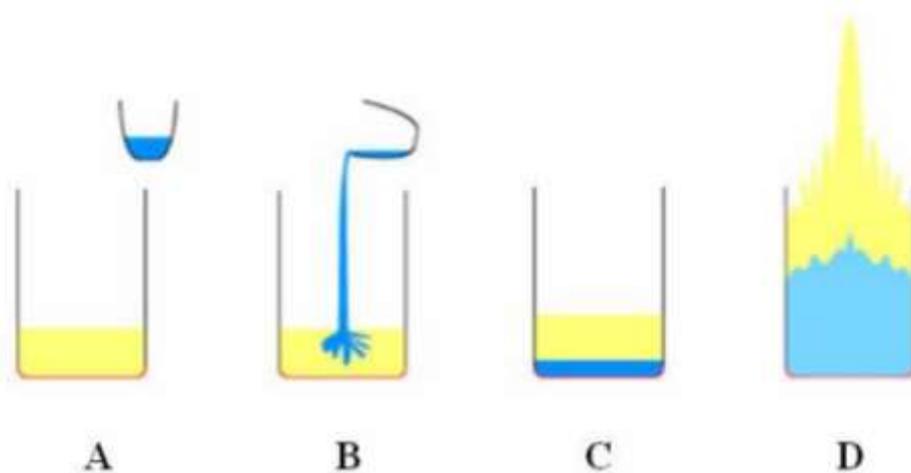


Figura 25 - Fasi del Boil over

In figura si possono vedere le fasi del Boil over, in particolare fase A: l'idrocarburo è incendiato; fase B: L'acqua viene versata nel contenitore; fase C: l'acqua stratifica al disotto dell'idrocarburo, si riscalda raggiungendo una temperatura superiore a quella di ebollizione e vaporizza istantaneamente; fase D: il vapore acqueo si espande rapidamente ed espelle l'idrocarburo in fiamme fuori dal contenitore.

### **FIREBALL (palla di fuoco)**

Il fenomeno del Fireball è generalmente legato all'innescò, a seguito di un rilascio istantaneo, di una nube di vapori di un gas liquefatto infiammabile. Tale situazione si verifica ad esempio a seguito rilascio massivo provocato dal BLEVE (vedi paragrafo successivo).



Figura 26 - Fireball

All'interno della nube di vapori la concentrazione dei gas è superiore al limite d'infiammabilità mentre ai bordi la concentrazione è compresa nel campo d'infiammabilità; pertanto, la combustione procede dall'esterno della nube verso l'interno. La temperatura di

combustione della nuvola di vapori è dell'ordine di 1000°C e le caratteristiche che la identificano sono legate al diametro e alla durata. Entrambe le grandezze caratteristiche del fireball sono legate alla quantità dei gas infiammabili dispersi. In particolare, le dimensioni e la temperatura della nube innescata sono costanti dall'inizio fino alla fine del fenomeno. I flussi termici generati da questo fenomeno possono essere anche dieci volte superiori a quelli associati ad una fiamma quindi i danni conseguenti alla combustione dei vapori sono causati dal notevole irraggiamento termico. A causa dell'irraggiamento, nel raggio della proiezione a terra del Fire Ball è altamente improbabile la sopravvivenza di esseri umani, specie se non protetti da abbigliamento antifiamma.

Per quanto riguarda invece gli incidenti che comportano essenzialmente effetti meccanici, si considerano i seguenti:

**BLEVE (esplosione dei vapori che si espandono a causa dell'ebollizione di un liquido)**

BLEVE (acronimo di Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) è l'esplosione meccanica derivante dalla rottura di un serbatoio contenente un liquido ad una temperatura significativamente al di sopra della sua temperatura di ebollizione a pressione atmosferica. La rottura del contenitore causa un immediato abbassamento della pressione che porta all'evaporazione rapidissima di una grande quantità di liquido.



*Figura 27 - Esempio Bleve*

La grande quantità di energia liberata durante questa tipologia di evento provoca un'onda d'urto e una proiezione di frammenti, anche di grande entità, ad elevata distanza. Se il liquido contenuto all'interno del serbatoio è infiammabile, come nel caso del GPL, a seguito del BLEVE si ha l'immediata accensione della nuvola di vapori rilasciati (fenomeno del Fire Ball). La rottura del contenitore che porta al BLEVE può essere dovuta a:

- incendio esterno che coinvolge il serbatoio;
- urto con un oggetto;
- corrosione;
- eccessiva pressione interna.

La causa iniziatrice più comune è comunque legata ad un incendio esterno che coinvolge il serbatoio. Frequentemente l'incendio è causato da una perdita copiosa, in fase liquida, con la successiva formazione di una pozza, il cui innesco e la successiva combustione (Pool Fire), genera il calore necessario da cui ha origine il BLEVE.

Le sostanze che possono provocare il BLEVE sono il GPL, l'ammoniaca, il cloro, alcuni gas criogenici ed i liquidi (compresa l'acqua) che si trovano entro serbatoi in pressione a temperature più alte di quelle di ebollizione a pressione ambiente.

Un esempio di incidente in cui si è verificato il BLEVE è quello accaduto il 6 agosto 2018 lungo l'Autostrada A14 all'altezza di Borgo Panigale (BO), nel quale un tamponamento tra un'autocisterna carica di GPL, un tir carico di solventi altamente infiammabili e una bisarca carica di automobili provocò un incendio di vaste proporzioni che dopo pochi minuti generò una violentissima esplosione (BLEVE). L'esplosione causò il crollo di una campata del raccordo autostradale oltre che due morti, 145 feriti, ingenti danni alle attività commerciali e alle zone residenziali poste in prossimità dell'incidente.



*Figura 28 - Incidente Bologna, 6 agosto 2018*

### **VCE (esplosione di vapori confinate)**

Il VCE (acronimo di Vapour Cloud Explosion) rappresenta un'esplosione confinata originata da una perdita (di polveri, gas o vapori combustibili) all'interno di un volume di contenimento.

In conseguenza dell'esplosione si può avere il cedimento della struttura, all'interno della quale è avvenuta la perdita, con proiezione di frammenti e possibile collasso delle strutture portanti o effetti domino. Questo fenomeno può essere causato, ad esempio, da una miscela infiammabile ARIA-GPL in un luogo confinato (locale chiuso o parzialmente chiuso, cunicoli, fogne, ecc.) in quanto la maggiore densità del GPL rispetto all'aria favorisce l'accumulo ed il ristagno della miscela nei locali seminterrati o interrati.

### **UVCE (esplosione di vapori non confinate)**

L'UVCE (acronimo di Unconfined Vapor Cloud Explosion) rappresenta l'esplosione di una nube di vapori infiammabili in ambiente non confinato (spazio aperto). La conseguenza dell'evento, di grande entità e tale da provocare effetti domino, è legata all'azione meccanica (onda d'urto) e termica (irraggiamento). La combustione, con andamento esplosivo, ha carattere deflagratorio (velocità di propagazione della combustione inferiore a quella del suono) e si propaga dal punto di accensione al resto della nube. Il fenomeno, in un ambiente

parzialmente confinato (es. in presenza di grossi edifici o apparecchiature industriali nello spazio di sviluppo della nube), può essere causato da una miscela infiammabile, come ad esempio la miscela ARIA-GPL, quando le quantità di vapori rilasciati sono maggiori di 1,5t. In un ambiente completamente aperto questo fenomeno ha elevate possibilità di verificarsi per quantità di vapori rilasciati superiori a 5t.

L'effettivo verificarsi dell'evento è fortemente condizionato dalle condizioni atmosferiche, in particolare dal vento. Per quanto detto, nella realtà risulta poco probabile il verificarsi dell'UVCE. Spesso l'innesco di questi rilasci si trasforma più facilmente in una combustione della miscela dando luogo al Flash Fire.

## 2.10 SISTEMI E METODI PER LA DIMINUZIONE DEI RISCHI CONNESSI AL TMP

### 2.10.1 INTRODUZIONE

Allo stato dell'arte, si possono trovare in letteratura diversi studi relativi a sistemi, metodi e tecnologie per il monitoraggio del trasporto delle merci pericolose, e per la riduzione del rischio relativo del trasporto delle stesse. Negli ultimi anni è aumentata la consapevolezza dell'importanza del trasporto di merci pericolose e sta aumentando anche la conoscenza sui materiali pericolosi che vengono trasportati grazie allo sviluppo di molti algoritmi avanzati, sensori on-board, informazioni dell'infrastruttura in real-time. La realizzazione di questi sistemi informativi può contribuire in modo significativo all'aumento di sicurezza degli utenti e dell'ambiente, oltre che allo sviluppo di metodi per la minimizzazione del danno e dei costi.

### 2.10.2 SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLE MERCI PERICOLOSE (AUTOVIE VENETE S.P.A.)

Il sistema adottato da Concessionarie Autovie Venete sull'autostrada A4 Venezia-Trieste per il monitoraggio del trasporto di merci pericolose descritto in [2], è stato implementato nel 2008, quando furono installate le prime quattro postazioni di rilevamento, ed ampliato nel 2010 con l'aggiunta di altre 23 postazioni. Inoltre, a partire dal 2018 il sistema è stato migliorato, con il coinvolgimento di un'interfaccia tra il Sistema Centrale gestito da Autovie Venete S.p.A. e la sua controparte gestita dalla Polizia Nazionale, chiamata SCNTT (Sistema Centralizzato Nazionale Targhe e Transiti). Questo collegamento permette che i dati e le immagini in tempo reale dei transiti dei veicoli siano inoltrati al Dipartimento di Polizia

Nazionale per la prevenzione del crimine e le indagini. Al 2020 il sistema di monitoraggio in questione era composto da 24 TMP detection points (portali). Il monitoraggio, di fatto, è un network di postazioni di rilevamento che garantisce una copertura capillare della rete autostradale ed è in grado di leggere, contemporaneamente, la targa dei veicoli (sia italiani sia stranieri) e dei codici presenti sulle etichette, associandoli fra loro. In questo modo è possibile sapere quante volte è passato un determinato veicolo o tale merce e che tragitto ha seguito.



Figura 29 - La rete autostradale gestita da Autovie Venete

Il monitoraggio delle merci pericolose è strutturato su tre livelli: un sistema di rilevamento che riconosce le targhe dei veicoli e le etichette; un sistema di gestione associa targhe ed etichette permettendo la catalogazione dei dati e l'elaborazione di statistiche sul flusso delle merci; un database centrale che registra i dettagli delle merci secondo le classificazioni standard della normativa ADR. Il sistema centrale raccoglie da ogni gate di monitoraggio i transiti dei veicoli con merci pericolose in tempo reale. I dati dei transiti indistinti senza merci pericolose sono invece raccolti ogni 5 minuti. I transiti di merci pericolose sono registrati nel sistema e conservati per 168 ore (7 giorni). Le loro immagini vengono poi scartate, conservando solo i dati di transito per eventuali elaborazioni e statistiche. I dati dei

transiti indistinti sono registrati, conservati per 72 ore (3 giorni) e poi cancellati, rispettando le disposizioni del GDPR 2016.

Le informazioni ottenute permettono di determinare l'origine del dato (tratto, varco, corsia utilizzata, data e ora del rilevamento), la merce trasportata, il veicolo (targa e nazionalità) e rappresentano la base per l'elaborazione di statistiche relative alla quantità dei transiti, alla frequenza del passaggio di determinate sostanze, la distribuzione dei transiti nei diversi giorni della settimana e nelle differenti fasce orarie. Il database, oltre alle informazioni sulla merce, contiene schede informative che riportano le informazioni essenziali quali i fattori di rischio legati a una determinata tipologia di merce, gli adempimenti da adottare in caso di incidenti, le manovre di primo soccorso in caso di contatto o contaminazione, le prescrizioni di sicurezza da seguire in base al livello di pericolosità. Il sistema è attualmente usato dal TCC (Traffic Control Center) di Autovie Venete per monitorare i transiti lungo la parte di autostrada gestita, la raccolta dei dati grazie a questo sistema ha permesso:

- La rappresentazione dei volumi di merci pericolose transitanti nelle sezioni dell'autostrada monitorate;
- La visualizzazione delle variazioni di transiti a ciascun portale, questo permette l'osservazione sull'utilizzo tipico dell'autostrada da parte dei veicoli di TMP;

L'utilizzo del sistema da parte di Autovie Venete S.p.A. ha permesso di avere un quadro rappresentativo dei volumi di merci pericolose in transito all'interno delle tratte autostradali. La figura mostra un esempio di possibile estrazione dei dati, che riporta i transiti complessivi registrati dai cancelli di ogni sezione. L'anno di riferimento per questi dati, è il 2016, l'anno più recente con tutti i varchi attivi sulla rete stradale gestita dal concessionario.

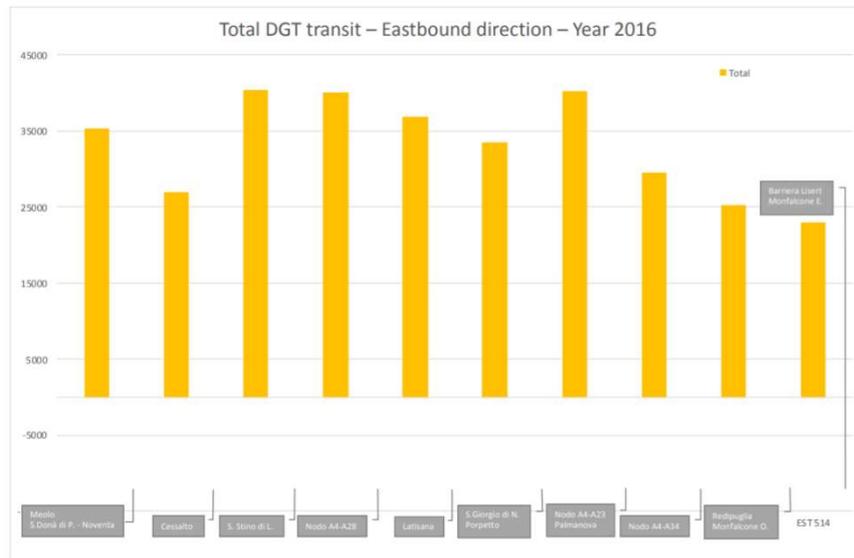


Figura 30 - Numero di transiti in particolari sezioni di monitoraggio

Oltre a registrare il numero complessivo di transiti ai gate, il sistema fornisce automaticamente le variazioni di transiti ad ogni cancello. Questo permette osservazioni sulla fruizione tipica dell'autostrada da parte dei mezzi di trasporto di merci pericolose, come riportato nella figura seguente, ma anche il suo monitoraggio in tempo reale da parte degli operatori del TCC (Traffic Control Center).

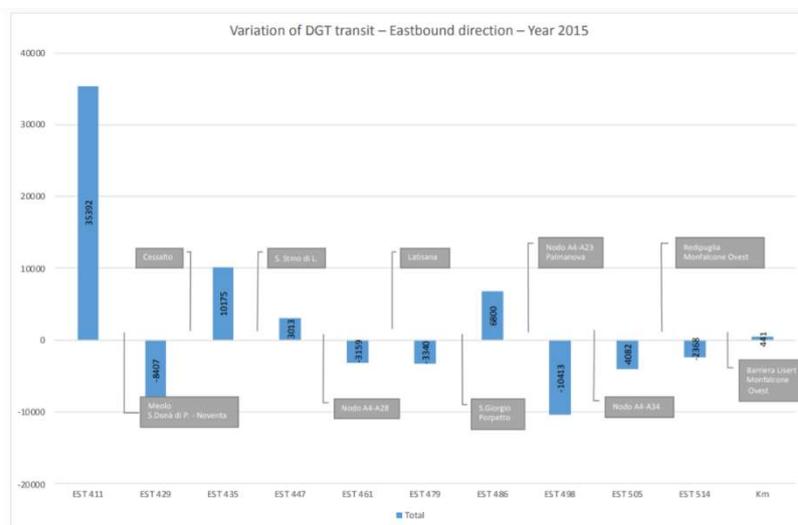


Figura 31 - Variazione dei transiti

Inoltre, l'analisi dei transiti in figura 32 mostra che la maggior parte dei materiali trasportati è rappresentata da sostanze infiammabili come diesel (codice ONU 1202), benzina (codice ONU 1203) e GPL (codice ONU 1965).

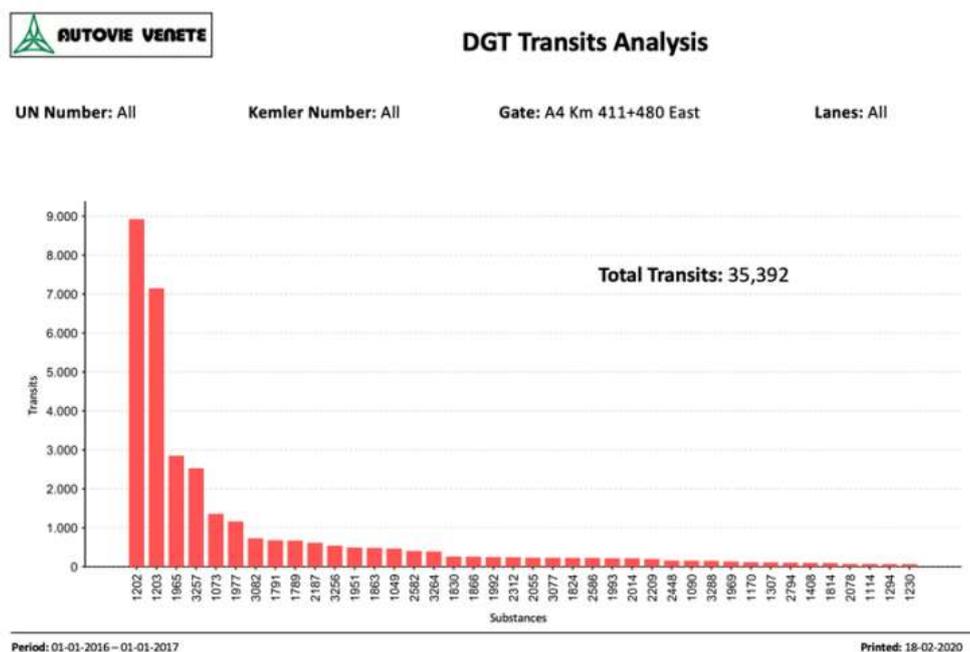


Figura 32 - Tipologie di merci trasportate

Il sistema di monitoraggio permette anche la visualizzazione dei transiti di una specifica sostanza o classi di sostanze.

La conoscenza di queste informazioni ha permesso ad Autovie Venete di sviluppare e adottare delle misure di prevenzione nei confronti di alcune specifiche tipologie di sostanze come gli idrocarburi, come ad esempio:

- A livello infrastrutturale: valutazione e applicazione di sistemi di contenimento e intercettazione delle acque di dilavamento della piattaforma stradale progettate specificatamente per gli idrocarburi;

- A livello procedurale: miglioramento delle procedure di comunicazione con i soggetti responsabili dell'intervento (personale interno, vigili del fuoco, polizia, personale sanitario, assistenza stradale);
- A livello operativo: l'elaborazione di protocolli e azioni di intervento in caso di emergenza in sinergia con le forze dell'ordine e i vigili del fuoco.

Si può quindi notare come questo sistema di monitoraggio delle merci pericolose, nonostante le inevitabili e intrinseche lacune connesse al monitoraggio puntuale dei transiti tramite portali, abbia fornito utili informazioni e abbia permesso di migliorare la gestione delle emergenze e diminuire il rischio a cui sono sottoposti gli utenti, la popolazione in prossimità dell'infrastruttura, l'ambiente e l'infrastruttura stessa. Un aspetto che potrebbe essere migliorato grazie all'utilizzo di nuove tecnologie come gli ITS e i C-ITS è proprio quello della puntualità delle informazioni, trasformando i dati da puntuali a continui durante tutto il tragitto del veicolo di TMP.

### 2.10.3 PROGETTO DESTINATION - DANGEROUS TRANSPORT TO NEW PREVENTIVE INSTRUMENTS

Il Progetto Strategico Interregionale Italia Svizzera 2007-2013 PTA-DESTINATION si è posto l'obiettivo di migliorare la conoscenza del rischio associato al trasporto di sostanze pericolose su strada. Il progetto ha coinvolto il territorio di Regione Lombardia, Regione Piemonte, Valle d'Aosta, Provincia Autonoma di Bolzano e Canton Ticino.

Il progetto ha avuto lo scopo di sviluppare e implementare un sistema informativo di condivisione dei dati ambientali, territoriali e tecnici sul trasporto di merci pericolose su strada (TMP o TMP) per supportare:

- la prevenzione di eventi incidentali;
- il monitoraggio in tempo reale del TMP attraverso On Board Unit (OBU) e punti fissi (Gate), in integrazione con il sistema di InfoMobilità;
- una più efficiente gestione dell'emergenza.

Obiettivo fondamentale è stata la definizione di una metodologia di analisi di rischio associato al trasporto merci pericolose attraverso lo sviluppo di un sistema informativo coordinato e operativo finalizzato a migliorare i livelli di sicurezza del trasporto merci pericolose e alla creazione di strumenti di governo del territorio. Questi strumenti di governo sono definiti a partire dai dati raccolti tramite i gate, le On Board Unit (OBU), i dati

ambientali e territoriali, passando attraverso la formula del rischio legato al trasporto di merci pericolose e implementando queste informazioni all'interno di un sistema informativo. Infatti, il progetto ha portato alla creazione di un sistema informativo definito SIIG, o GIIS in inglese (Global Integrated Information System) per la condivisione, il processamento e l'analisi di dati ambientali, territoriali locali e tecnici sul trasporto di merci pericolose su strada. Il GIIS permette la definizione di misure progettate per mitigare il rischio di trasporto di tali merci, il monitoraggio del trasporto merci pericolose attraverso delle unità on-board e dei portali, e una gestione delle emergenze più efficiente in caso di incidente; inoltre il GIIS può anche servire come un tool di supporto per gli stakeholders coinvolti per una gestione più efficace ed efficiente delle diverse fasi del trasporto (pianificazione e prevenzione, assistenza durante il viaggio, gestione dell'emergenza in caso di incidente).

La rete di monitoraggio usata nell'ambito del progetto è stata implementata installando su specifiche sezioni stradali all'interno del territorio di progetto, portali (gate) in grado di rilevare e registrare il transito dei veicoli adibiti al trasporto di sostanze pericolose. I gate sono costituiti da telecamere in grado di leggere i caratteri alfanumerici dei numeri KEMLER e ONU dei pannelli arancioni posti sui veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose. Ogni varco è in grado di controllare almeno due corsie contemporaneamente garantendo di:

- rilevare e gestire correttamente casi in cui più veicoli transitino contemporaneamente affiancati presso il varco;
- rilevare e gestire correttamente casi in cui uno o più veicoli transitino sotto il varco a cavallo di due corsie adiacenti o in qualsiasi punto della carreggiata;

Per ogni transito sono memorizzati, associati in modo univoco e forniti in tempo reale alla centralina di elaborazione i seguenti dati:

- i caratteri del pannello arancione letti dalla telecamera;
- i dati di identificazione del varco e della corsia;
- la data e l'ora di transito.

In totale sono stati utilizzati 30 gate di rilevazione ciascuno codificato in modo univoco utilizzando un codice alfanumerico; il gate è costituito da una struttura di sostegno, una telecamera e un armadio stradale per l'elaborazione dei dati e l'invio al centro di controllo. Dal momento che alcune configurazioni del gate prevedono telecamere capaci di monitorare due direzioni di marcia, è stato possibile controllare in totale 38 diverse direzioni di marcia.

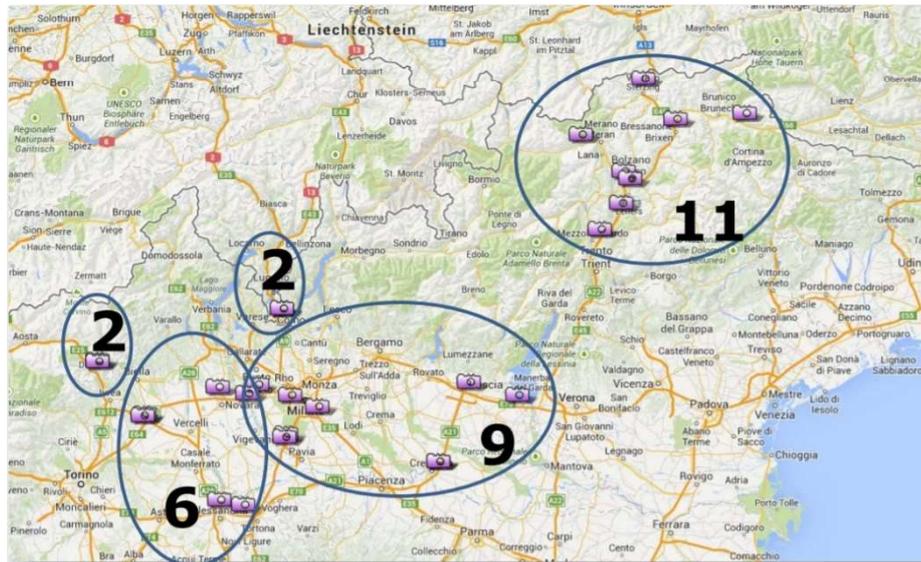


Figura 33 - Localizzazione delle telecamere

I gate, dopo aver acquisito le immagini, inviano i dati dei varchi al centro di controllo, che ha le seguenti funzionalità:

- Acquisisce i dati dai varchi periferici;
- Associa i caratteri del pannello posto sui mezzi di trasporto ai codici KEMLER e ONU;
- Elabora i dati e le immagini dei transiti TMP, al fine di generare statistiche e report relativi ai flussi TMP;
- Invia al SIIG informazioni aggregate relative ai flussi TMP nel formato XML standard di progetto;
- Gestisce il funzionamento dei varchi periferici in termini di configurazione apparati e diagnostica.

Le analisi vengono svolte per rispondere principalmente a tre obiettivi:

- Elaborazione di statistiche aggiornate sui dati provenienti dai gate, al fine di stimare e conoscere la tipologia e la quantità di sostanze pericolose che transitano all'interno dell'area di progetto;
- Raffinamento del modello di calcolo del rischio, con particolare riferimento al parametro che identifica la ripartizione delle sostanze considerate;
- Identificazione di sostanze circolanti nell'area di progetto che non sono state considerate nel modello di rischio, ed eventualmente introduzione delle nuove sostanze all'interno del modello.

I dati raccolti vengono successivamente analizzati tramite lo sviluppo di elaborazioni statistiche, che si articolano su più livelli:

- Orario;
- Giornaliero;
- Settimanale;
- Mensile;
- Per sostanza.

Le elaborazioni possono essere di due tipi: analisi generale (aggregata) e analisi di dettaglio (disaggregata): nel primo caso si considerano i valori riferiti all'intera area di progetto mentre nel secondo è possibile valutare un singolo gate.

Inoltre, è stato sviluppato un cruscotto per consentire agli utenti di effettuare elaborazioni che restituisce i risultati in forma numerica-tabellare e in forma grafica tramite istogrammi. Il cruscotto permette l'esecuzione automatica di alcune elaborazioni statistiche, in particolare:

- Distribuzione dei transiti ADR medi nelle diverse ore del giorno, nei diversi giorni della settimana, nei diversi giorni del mese (valori medi calcolati su tutti i gate)
- Transiti mensili ADR medi (valori medi calcolati su tutti i gate)
- Distribuzione dei transiti ADR totali nelle diverse ore del giorno, nei diversi giorni della settimana, nei diversi giorni del mese (valori totali per singolo gate)
- Transiti mensili ADR totali (valori totali per singolo gate)
- Transiti totali sostanze ADR ordinate per giorno, mese o anno (valori totali singolo gate)
- Transiti totali sostanze ADR ordinate per settimana o anno, per mese (valori totali per singolo gate)
- Transiti totali sostanze ADR ordinate per giorno, settimana, mese o anno (valori totali calcolati su tutti i gate)
- Distribuzione oraria di una specifica sostanza ADR nelle diverse ore del giorno (valori totali per singolo gate)
- Distribuzione dei transiti di una specifica sostanza ADR nei diversi giorni della settimana (valori totali per singolo gate)

- Transiti mensili di una specifica sostanza ADR e transiti totali mensili (valori totali per singolo gate)
- Transiti ADR totali giornalieri, settimanali, mensili o annuali per gate
- Confronto transiti totali ADR e non ADR, giornalieri, settimanali, mensili o annuali per Gate
- Distribuzione dei transiti ADR totali giornalieri, settimanali, mensili o annuali per Gestore – Concessionario

L'analisi dei dati raccolti dai dispositivi OBU e dai gate sulle sostanze circolanti serve inoltre per validare le sostanze utilizzate nel modello di rischio associato, descritto dal seguente modello:

$$R_i = P_{is,i} \times \sum_j (P_{ADR,ij} \times \sum_k (P_{sc,ijk} \times \sum_m (F_{p,m} \times E_{ikm} \times S_{km} \times (1 - C_{ff,ikm}))))$$

Nel quale in particolare i pedici rappresentano:

- i: l'arco stradale
- j: la sostanza ADR
- k: lo scenario incidentale cui si associa una certa soglia e una conseguente area di danno
- m: la tipologia e la suscettibilità del bersaglio esposto

Gli altri elementi del modello rappresentano invece:

- Il parametro  $P_{is}$  (pericolosità intrinseca della strada) è un parametro funzione solo dell'arco stradale (pedice i) e può quindi essere considerato a tutti gli effetti un attributo della strada;
- Il parametro  $P_{ADR}$  (probabilità che un incidente stradale coinvolga il TMP) è un parametro funzione dell'arco stradale (pedice i) e della sostanza ADR trasportata (pedice j). Anch'esso può essere considerato un attributo della strada;
- Il parametro  $P_{sc}$  è un parametro funzione dell'arco stradale (pedice i), della sostanza ADR trasportata (pedice j) e di uno specifico scenario incidentale cui si associa una certa soglia e una conseguente area di danno (pedice k). Questo parametro è dato dal prodotto tra  $P_{pc}$  perdita di contenimento e rilascio e  $P_{inn}$  probabilità di innesco;

- Il parametro  $F_p$  (fattore di presenza/di peso) è tipico di uno specifico bersaglio esposto (pedice  $m$ ) e assume significati diversi per i bersagli umani (effettiva presenza) e per i bersagli non umani (peso relativo tra i differenti usi del suolo);
- Il parametro  $E$  (bersagli potenzialmente esposti) è funzione dell'arco stradale (pedice  $i$ ), di uno specifico scenario incidentale cui si associa una certa soglia e una conseguente area di danno (pedice  $k$ ) ed è tipico di uno specifico bersaglio esposto (pedice  $m$ );
- Il parametro  $S$  è funzione di uno specifico scenario incidentale cui si associa una certa soglia e una conseguente area di danno (pedice  $k$ ) ed è tipico di uno specifico bersaglio esposto (pedice  $m$ ). È quindi uno dei pochi parametri non specifici del sito ma valido su tutto il territorio di interesse. Rappresenta il fatto che non tutti i bersagli potenzialmente esposti subiscono effettivamente il danno. Ciò può essere dovuto al fatto che i soggetti esposti sono in qualche modo protetti ovvero al fatto che l'evento non ha la stessa probabilità di evolvere in tutte le direzioni, ma assume direttrici particolari;
- Il parametro  $C_{ff}$  è funzione dell'arco stradale (pedice  $i$ ), di uno specifico scenario incidentale cui si associa una certa soglia e una conseguente area di danno (pedice  $k$ ) ed è tipico di uno specifico bersaglio esposto (pedice  $m$ ). Rappresenta il fatto che il territorio può essere dotato di proprie risorse di resilienza in grado di garantire una effettiva riduzione dei rischi riguardanti determinati bersagli a fronte di determinati scenari incidentali.

Su questo modello di analisi del rischio da trasporto merci pericolose si basa il SIIG, il Sistema Informativo Integrato Globale, che è uno strumento di pianificazione e di supporto alle decisioni in grado di:

- raccogliere ed elaborare i dati territoriali provenienti dalla rete di monitoraggio;
- consentire l'esecuzione di simulazioni finalizzate all'implementazione di mappe tematiche per la gestione/mitigazione del rischio.

Il cuore del SIIG è la componente di sicurezza preventiva – attiva, volta a incrementare la conoscenza del fenomeno del trasporto di merci pericolose (TMP) nei territori del progetto e sensibilizzare gli operatori del settore TMP rispetto al tema della sicurezza. La metodologia sviluppata propone un approccio flessibile, adattabile a diversi casi d'uso (come i processi di pianificazione e valutazione ambientale) in modo da essere applicabili nel campo della

sicurezza passiva, per le attività di valutazione dei danni e di definizione delle aree di impatto, del rischio potenziale causato da effetti domino, del danno antropico e ambientale, oltre che per la gestione delle emergenze e la valutazione della capacità di far fronte a tali emergenze da parte delle autorità competenti..

Le funzionalità del sistema sono differenziate in base al profilo utente. Le elaborazioni supportate sono le seguenti:

- elaborazioni standard, disponibili per tutti gli utenti, si riferiscono a condizioni temporali e meteorologiche medie; non è possibile per gli utenti eseguire calcoli cambiando i valori o escludendo/aggiungendo alcuno dei parametri della formula;
- elaborazioni personalizzate, per gli utenti avanzati, permettono di modificare (amplificandoli o attenuandoli) i valori di alcuni parametri o di introdurre fattori correttivi che tengono conto delle dinamiche temporali (giorno/notte, giorni feriali/festivi);
- simulazioni, solo per gli utenti specialistici, vengono applicate a scenari incidentali potenziali, in quanto mirano a simulare i possibili cambiamenti del contesto territoriale, legati sia alla presenza di nuovi elementi di vulnerabilità (ad esempio la presenza di un nuovo centro commerciale, o un nuovo ospedale) sia alla variazione di altri fattori che caratterizzano il rischio (pericolosità della strada, presenza e tipo di TMP, capacità di far fronte, ecc.), modificando manualmente i valori di parametri specifici nella formula del rischio.

I risultati delle elaborazioni sono rappresentati sia in forma sintetica (ossia numerica) per ogni tratto strada, sia in forma analitica attraverso l'individuazione dettagliata degli elementi di vulnerabilità umana ed ambientale impattati da uno specifico scenario incidentale.



Figura 34 - Esempio di rappresentazione sintetica del rischio

Le azioni svolte nell’ambito del progetto PTA-DESTINATION sono state finalizzate essenzialmente a consolidare le funzionalità realizzate e ad ampliare le modalità di utilizzo del SIIG da strumento di sicurezza preventiva a tool di supporto per la sicurezza attiva e passiva, utilizzabile anche in real time da soggetti pubblici (per la gestione delle situazioni di emergenza) e privati, inclusi i cittadini. In quest’ottica, sono state realizzate 3 mobile apps:

- l’app “**Rappresentazione rischio**” permette al cittadino di consultare su supporto mobile i risultati dell’analisi di rischio, limitatamente alle elaborazioni standard supportate dal SIIG. Consente la tematizzazione su mappa con sfondo Google del grafo stradale “Destination” rispetto ai principali parametri sintetici elaborati dal SIIG (rischio totale; rischio sociale; rischio ambientale; pericolosità intrinseca della strada). Il parametro da tematizzare è selezionabile dall'utente;
- l’app “**Rappresentazione danno**” è pensata come uno strumento di campo di utilizzo immediato per i soggetti preposti alla gestione delle emergenze derivanti da un avvenuto incidente che ha coinvolto sostanze ADR sia dal punto di vista antropico (VVFF, Protezione Civile, Polizia Stradale) che ambientale (ARPA). In analogia rispetto all’analogia funzionalità implementata nel SIIG, permette, navigando la mappa, di indicare l’ubicazione puntuale dell’incidente e le sostanze coinvolte. L’area di danno può essere calcolata automaticamente dal sistema o definita dall’utente per adattarla alle specifiche condizioni locali. Il risultato

dell'elaborazione rappresenta quindi su mappa e in forma alfanumerica l'insieme dei bersagli compresi all'interno dell'area di danno;

- l'app “**Rilevazione volontaria TMP**” è pensata come un OBU (On Board Unit) virtuale, che può essere utilizzata da società proprietarie di flotte che trasportano merci pericolose che si rendono disponibili a procedere a un rilevamento volontario. L'app fornisce la possibilità di avere uno storico dei viaggi effettuati, fornisce informazioni di infomobilità (viabilità e traffico, condizioni meteo), informa della presenza di altri mezzi con sostanze pericolose.

Il progetto Destination ha quindi consentito non soltanto di superare la disomogeneità dei dati sul trasporto di merci pericolose e dei dati relativi alle vulnerabilità presenti nei diversi territori dei partner di progetto attraverso la creazione di una base dati comune, ma anche di realizzare uno strumento di supporto alle decisioni flessibile, in grado di essere applicato anche in altri contesti.

#### 2.10.4 PROGETTO LOSE+ - LOGISTICA E SICUREZZA DEL TRASPORTO MERCI

Il progetto LOSE + è un progetto Europeo della III call del Programma Interreg Marittimo Italia-Francia 2014-2020, programma transfrontaliero, cofinanziato dal Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale (FESR). LOSE + è LOGistica e SicurEzza del trasporto merci – progetto multiazione sulla gestione delle merci pericolose in ingresso e uscita dai porti nell'area di cooperazione.

Il progetto vuole perseguire la protezione e valorizzazione delle risorse naturali e culturali, gestione dei rischi nelle aree di terra e di mare e si impegna a migliorare la sicurezza in mare contro i rischi della navigazione dando continuità ai risultati del precedente progetto LOSE e arrivando a ridefinire e confrontare (rispetto ai precedenti risultati di LOSE) lo stato dell'arte sulla movimentazione delle merci pericolose in ingresso e uscita dai porti coinvolti nel progetto e il livello di rischio che esse generano nell'attraversamento delle aree retro portuali/urbane, definendo percorsi e modalità di trasporto alternativi.

Il progetto si configura come un insieme di azioni congiunte volte a definire sistemi informativi, tecnologici e formativi riguardanti il monitoraggio, le procedure di trasporto e

della movimentazione delle merci pericolose, nonché protocolli di intervento per la gestione delle emergenze partendo dai risultati conseguiti con il progetto LOSE.

Il progetto ha come obiettivi principali i seguenti:

- realizzare/implementare opportuni strumenti ICT e sistemi per il controllo dei flussi delle merci che consentano di attivare un sistema di monitoraggio continuo a livello transfrontaliero e di trasmettere dati/informazioni agli attori del territorio che intervengono nella gestione delle merci, sia via terra che via mare passando attraverso i porti (continuità della catena di trasporto);
- definire, sulla base del sistema di previsione e gestione delle emergenze, una codifica degli incidenti che si verificano in mare in prossimità della costa e nell'area porto come ad esempio nelle vie di accesso all'entroterra (viabilità urbana ed extra urbana fino alle piattaforme logistiche), individuando i soggetti che operano in questo spazio e le loro diverse responsabilità;
- sviluppare un sistema di supporto alla formazione per l'utilizzo di ICT nella gestione del rischio e delle emergenze nel trasporto di merci pericolose, tale da acquisire e trasferire conoscenza sulle nuove tecnologie ai soggetti target.

Grazie alla stretta collaborazione con il progetto dell'Osservatorio sulle merci pericolose (OMD) ed in relazione alle esigenze del territorio di progetto, tra i partner di progetto operanti sull'azione verrà definito un Piano coordinato congiunto per la tracciabilità e gestione dei flussi delle merci pericolose. Il piano avrà come obiettivo quello di arrivare ad una pianificazione e previsione dei flussi delle merci nell'area transfrontaliera tra i partner partecipanti al progetto LOSE+.

Il sopracitato progetto dell'Osservatorio sulle merci pericolose (OMD) fa anch'esso parte della famiglia di progetti a cui appartiene LOSE+, in particolare si propone di:

- Progettare e realizzare un sistema informativo congiunto che operi in quanto Osservatorio per il monitoraggio di flussi marittimi di merci pericolose e per l'incremento della sicurezza in mare;
- Definire protocolli d'intesa tra enti istituzionali e soggetti privati e pubblici transfrontalieri per armonizzare la gestione e l'organizzazione dei flussi di merci pericolose;
- Individuare standard comuni di valutazione del rischio;

- Creare una biblioteca di modelli di gestione delle emergenze legate ad incidenti in mare connessi al trasporto di merci pericolose ed una mappatura del rischio di incidenti.

#### 2.10.5 SISTEMI DI MONITORAGGIO PER IL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE BASATI SU SISTEMI DI NAVIGAZIONE SATELLITARI

In Cina nel 2016 è stato studiato un sistema di monitoraggio delle merci pericolose tramite l'utilizzo di sistemi satellitari di localizzazione come GPS e BeiDou. In particolare, in [3] gli autori propongono un sistema di monitoraggio real-time utilizzando sistemi GPS combinati con trasmissioni radio GPRS, Radio Frequency Identification (RFID) e Geographic information system (GIS). Il sistema di monitoraggio proposto si compone di tre elementi:

- Un'unità di bordo (vehicle terminal): può raccogliere informazioni sulla posizione del veicolo e sullo stato del materiale pericoloso. Deve essere installato a bordo del veicolo;
- Un modulo di sensori per l'acquisizione dati: raccoglie informazioni sulle condizioni del materiale (temperatura, pressione, ecc.);
- Un centro di monitoraggio: riceve i dati sulla posizione e sullo stato del materiale dal vehicle terminal e manda istruzioni al veicolo.

La composizione del sistema è descritta nella seguente figura:

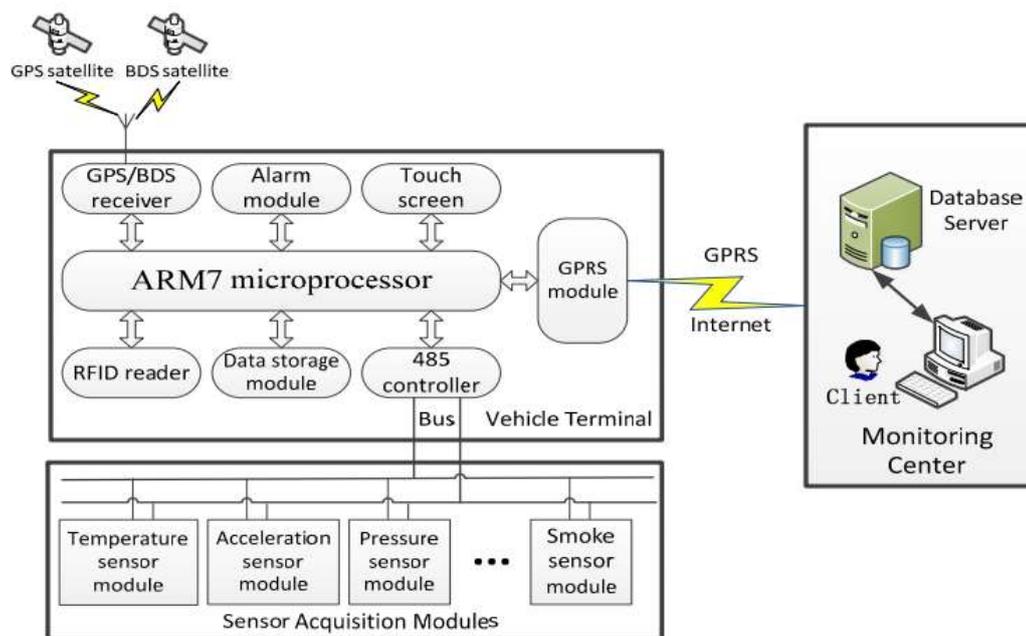


Figura 35 - Struttura del sistema di monitoraggio

Durante il trasporto prima viene caricato il *vehicle terminal*. Successivamente il lettore RFID può indentificare il materiale pericoloso riconoscendo e leggendo la targa arancione con i numeri KEMLER e ONU. Il ricevitore GPS/BDS è usato per ricavare i dati sulla posizione. Il modulo dei sensori per l'acquisizione può raccogliere tutte i parametri di stato del materiale pericoloso trasportato, e nel caso in cui questi parametri fossero oltre il campo di valori adeguato, il modulo di allarme allerterebbe il guidatore. Successivamente tutte le informazioni come la posizione, il tag RFID, i parametri di stato sono inviate al centro di monitoraggio via GPRS che le conserva in Database e mostra le informazioni utili tramite un'interfaccia grafica.

Uno studio simile è stato sviluppato anche da alcuni ricercatori polacchi sempre nel 2016; gli autori in [4] propongono un sistema nazionale di monitoraggio dei veicoli di trasporto di merci pericolose con utilizzo di GPS e GSM, che permetta la localizzazione precisa del veicolo, e che inoltre avrebbe molti altri benefici:

- Monitoraggio del carico, del suo stato fisico/chimico, che influenza la sicurezza delle persone coinvolte nel trasporto e degli utenti;
- Localizzazione del veicolo che trasporta materiale pericoloso e degli altri veicoli sulla strada;

- Gestione più efficace della flotta da parte delle compagnie di trasporto, con un impatto diretto sulla riduzione del costo del trasporto;
- Acquisizione dei dati operativi del veicolo;
- Mantenimento costante delle comunicazioni tra veicolo e base;
- Notificazione di un eventuale incidente al centro di gestione della crisi;
- Selezione dei percorsi ottimali ed economici.

La struttura del sistema studiato è la seguente:

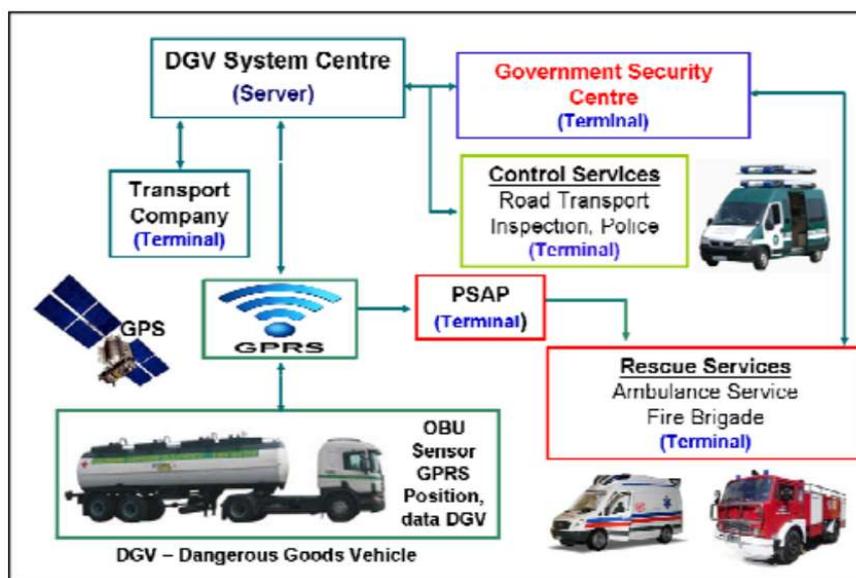


Figura 36 - Struttura del sistema di monitoraggio

Questa tipologia di sistemi può rendere il monitoraggio delle merci pericolose più efficace in modo da ridurre le possibilità di un incidente. Può essere utile per migliorare la raccolta dei dati relativi al TMP, che possono poi essere utilizzati e sfruttati da un sistema attivo di controllo e monitoraggio del trasporto basato su nuove tecnologie come i C-ITS.

## 3. STATO DELL'ARTE C-ITS

### 3.1 INTRODUZIONE

I Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) sono una categoria di servizi ITS basati su una rete aperta che consente una relazione "da molti a molti" o "da pari a pari" tra le stazioni C-ITS. Ciò significa che tutte le stazioni C-ITS possono scambiarsi messaggi in sicurezza e non sono limitate allo scambio di messaggi con una singola o più stazioni predefinite. I vantaggi dei C-ITS si estendono su una serie di settori e comprendono una migliore sicurezza stradale, maggiori efficienza dei trasporti, mobilità e affidabilità dei servizi, un consumo energetico ridotto, minori effetti negativi sull'ambiente e sostegno allo sviluppo economico. Nel trasporto su strada, i C-ITS generalmente si realizzano tramite la comunicazione veicolo-veicolo (vehicle-to-vehicle, V2V), la comunicazione veicolo-infrastruttura (vehicle-to-infrastructure, V2I) e/o la comunicazione infrastruttura-infrastruttura (infrastructure-to-infrastructure, I2I) e la comunicazione tra i veicoli e i pedoni o i ciclisti (vehicle-to-everything, "veicolo-tutto", V2X). Ciò consente l'esistenza di un'ampia gamma di servizi di informazione e cooperazione. Allo stesso tempo è necessario prestare attenzione al fine di evitare possibili effetti negativi, quali ad esempio un aumento della domanda di traffico dovuto ai miglioramenti di cui sopra, un sovraccarico di informazioni per i conducenti o maggiori rischi per la cibersicurezza e la privacy dovuti alla condivisione dei dati supplementare.

Nell'ultimo decennio si è assistito a nuovi sviluppi significativi delle tecnologie alla base dei C-ITS. Nonostante i potenziali vantaggi, tali sviluppi non hanno tuttavia ancora portato a una diffusione su larga scala. Nel 2011 i costruttori di veicoli dell'UE, riuniti nel consorzio di comunicazione CAR 2 CAR, hanno pubblicato un memorandum d'intesa congiunto dichiarando la loro intenzione di avviare la diffusione su larga scala entro il 2015, data in cui i sistemi sarebbero stati tecnologicamente pronti. Nel 2014 la Commissione ha risposto creando una piattaforma per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti cooperativi nell'UE (piattaforma C-ITS), un gruppo di esperti nell'ambito del quale autorità nazionali, portatori di interessi nel campo dei C-ITS e la Commissione potessero collaborare a una visione condivisa e a soluzioni di attuazione concrete per la diffusione interoperabile dei C-ITS nell'UE.

## 3.2 DIRETTIVA 2010/40/UE - DIRETTIVA ITS (INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM)

La direttiva 2010/40/UE è intesa a sostenere il piano d'azione ITS e ad istituire un quadro per accelerare e coordinare la diffusione e l'utilizzo di tali sistemi nel trasporto su strada, comprese le interfacce con altri modi di trasporto.

Si definiscono sistemi di trasporto intelligenti (ITS) applicazioni avanzate che forniscono servizi innovativi relativamente alla gestione del traffico e ai diversi modi di trasporto consentendo agli utenti di accedere alle informazioni necessarie per fare un uso più sicuro, coordinato e «intelligente» delle reti e dei mezzi di trasporto.

Gli ITS utilizzano tecnologie di telecomunicazioni, elettronica, tecnologie dell'informazione e ingegneria dei trasporti al fine di pianificare, progettare, rendere operativi e gestire i sistemi di trasporto. L'applicazione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione al settore del trasporto stradale e alle interfacce con altri modi di trasporto può contribuire in modo significativo al miglioramento delle prestazioni ambientali, dell'efficienza, anche energetica, della sicurezza del trasporto stradale, compreso il trasporto di merci pericolose, della sicurezza pubblica e della mobilità dei passeggeri e delle merci. Tra le applicazioni concrete si possono citare strumenti per la rilevazione del numero dei passeggeri e la localizzazione dei mezzi pubblici (automatic vehicle location), che consentono di modificare l'offerta del servizio in base alla domanda reale dislocando i veicoli nei punti di maggiore affollamento e nelle ore di punta. L'introduzione di semafori intelligenti e pannelli elettronici con informazioni sulla viabilità può fluidificare la circolazione e favorire il trasporto pubblico. Ulteriori applicazioni in un contesto urbano possono essere adottate per la realizzazione di:

- strumenti di trip planning intermodale che consentano di pianificare un percorso combinando auto privata, bus pubblici, forme di bike o car sharing;
- piattaforme "fare system" per il calcolo del costo di un tratto intermodale comprensivo dei biglietti dei diversi mezzi di trasporto;
- piattaforme MaaS (Mobility as a Service), che integrino le offerte di mobilità (car e bike sharing, bus, taxi) in un'unica applicazione.

La direttiva istituisce un quadro generale per favorire l'adozione e la diffusione di sistemi ITS individuando nell'articolo 2, quattro aree di intervento prioritarie:

- uso ottimale dei dati relativi alle strade, al traffico e alla mobilità;
- gestione del traffico e del trasporto merci;
- sicurezza stradale e del trasporto;
- collegamento tra i veicoli e le infrastrutture di trasporto.

Inoltre, indica come azioni prioritarie (art. 3) la predisposizione di:

- servizi di informazione sulla mobilità multimodale;
- servizi di informazione sul traffico in tempo reale;
- dati e procedure per la comunicazione gratuita agli utenti di informazioni minime universali sul traffico e sulla sicurezza stradale;
- servizio elettronico di chiamata di emergenza interoperabile, eCall;
- servizi di informazione e prenotazione sulle aree di parcheggio sicure per automezzi pesanti e veicoli commerciali.

L'Italia ha recepito, sia a livello legislativo, sia a livello di normazione secondaria, la direttiva 2010/40/UE. Il recepimento legislativo è avvenuto con l'articolo 8, commi da 4 a 9, del decreto-legge n. 179/2012; quello "amministrativo" con il decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 1° febbraio 2013. All'attuazione della direttiva contribuisce il decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 1° febbraio 2013 per la Diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti (ITS) in Italia che prevede tra l'altro:

- la costituzione di una piattaforma telematica nazionale dei sistemi di trasporto intelligente (ITS), anche al fine di promuovere la creazione di figure professionali per la progettazione, gestione e manutenzione;
- l'obbligo, per il Dipartimento per i trasporti, attraverso il CCISS (Centro di coordinamento delle informazioni sul traffico, la viabilità e la sicurezza stradale) di rendere disponibili sul web il Data Dictionary degli eventi di traffico contenuti nel protocollo di comunicazione DATEX;
- il database delle località attraverso modelli per la geo-referenziazione delle informazioni e i dati di traffico in tempo reale, e la predisposizione dell'Indice pubblico delle informazioni sulle infrastrutture e sul traffico, contenente gli indirizzi di esposizione di tutte le informazioni, pubbliche e private, su cartografia, infrastrutture, traffico e regolarità della circolazione stradale;
- l'uso degli ITS per il trasporto multimodale dei passeggeri;

- azioni per la definizione delle specifiche tecniche per il collegamento telematico tra veicoli e infrastruttura stradale e per favorire l'uso dei sistemi ITS per il controllo, sulla rete stradale urbana ed extraurbana, della velocità dei veicoli sulle strade a scorrimento veloce.

### 3.3 REGOLAMENTO DELEGATO C (2019)1789

#### 3.3.1 INTRODUZIONE

Il Regolamento Delegato C (2019)1789 è un documento integrativo alla direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la diffusione e l'utilizzo operativo di sistemi di trasporto intelligenti cooperativi (C-ITS) e si propone di fissare i requisiti giuridici minimi per l'interoperabilità dei C-ITS e consentire la diffusione su larga scala dei servizi e dei sistemi C-ITS a partire dal 2019.

#### 3.3.2 SERVIZI C-ITS

Il regolamento delegato si concentra sui servizi prioritari ("day 1"), vale a dire i servizi C-ITS che devono essere diffusi nel breve termine e che contribuiranno in particolare alla sicurezza stradale e all'efficienza del traffico. In particolare, i servizi prioritari sono i seguenti:

*Tabella 4 - Servizi C-ITS prioritari*

Categoria di servizi	Servizio
Servizi V2V (vehicle-to-vehicle)	
Ingorgo del traffico	Fine coda pericoloso
Ingorgo del traffico	Ingorgo del traffico più avanti
Avviso di veicolo fermo	Veicolo in sosta
Avviso di veicolo fermo	Veicolo in panne
Avviso di veicolo fermo	Post-incidente
Avviso di veicolo speciale	Veicolo di emergenza in servizio
Avviso di veicolo speciale	Veicolo di segnalazione fermo
Avviso di veicolo speciale	Avviso di veicolo di soccorso fermo
Scambio di IRC <sup>1</sup>	IRC di richiesta
Scambio di IRC	IRC di risposta
Situazione di pericolo	Luce elettronica di frenata di emergenza
Situazione di pericolo	Azionamento automatico del freno

Situazione di pericolo	Azionamento del sistema reversibile di ritenuta dell'occupante
Condizioni atmosferiche avverse	Nebbia
Condizioni atmosferiche avverse	Precipitazioni
Condizioni atmosferiche avverse	Perdita di trazione
Servizi I2V (infrastructure-to-vehicle)	
Segnaletica di bordo	Informazioni dinamiche relative al limite di velocità
Segnaletica di bordo	PMV (pannelli a messaggio variabile) a testo libero integrati
Segnaletica di bordo	Altre informazioni da segnaletica
Notifiche di punti pericolosi	Zona di incidente
Notifiche di punti pericolosi	Ingorgo del traffico più avanti
Notifiche di punti pericolosi	Veicolo fermo
Notifiche di punti pericolosi	Avvisi metereologici
Notifiche di punti pericolosi	Strada temporaneamente sdruciolevole
Notifiche di punti pericolosi	Animali o persone sulla carreggiata
Notifiche di punti pericolosi	Ostacolo sulla carreggiata
Avviso di lavori stradali	Corsia chiusa (o altre restrizioni)
Avviso di lavori stradali	Strada chiusa
Avviso di lavori stradali	Lavori stradali – cantiere mobile
Intersezioni dotate di segnaletica	Velocità ottimale consigliata per sfruttare la fase verde dei semafori
Intersezioni dotate di segnaletica	Trattamento preferenziale riservato ai mezzi pubblici

1) Pacchetti di informazioni destinate alla riduzione delle collisioni (Impact Reduction Container)

Oltre ai servizi prioritari detti “day 1 application”, sono stati definiti anche i servizi detti “day 1,5 application”, cioè quei servizi meno impattanti dal punto di vista dei vantaggi e sviluppiabili in un secondo momento perché più legati alla funzionalità che alla sicurezza. Essi sono utilizzabili per diverse applicazioni:

- Informazioni sulle stazioni di rifornimento e ricarica per veicoli a combustibile alternativo;

- Protezione degli utenti vulnerabili della strada;
- Gestione e informazione dei parcheggi su strada;
- Informazioni sui parcheggi fuori strada;
- Informazioni su Park & Ride;
- Navigazione connessa e cooperativa dentro e fuori la città (spostamenti del primo e ultimo miglio, parcheggio, consigli sul percorso, semafori coordinati);
- Informazioni sul traffico e Smart routing.

### 3.3.3 TECNOLOGIE DI COMUNICAZIONE C-ITS

Un elemento importante nell'ambito dei C-ITS è rappresentato dalle tecnologie di comunicazione che possono essere utilizzate per lo scambio di messaggi tra stazioni C-ITS. Ciò è direttamente connesso alla necessità di garantire che tutti siano in grado di comunicare con tutti (interoperabilità) e che tutti continuino ad essere in grado di comunicare con tutti (compatibilità). Per massimizzare i benefici è necessario sfruttare i diversi vantaggi apportati da tecnologie differenti e complementari. L'"approccio di comunicazione ibrido" combina due tipi di tecnologie:

- tecnologie di comunicazione a corto raggio, che operano in una banda di frequenza dedicata di 5,9 GHz e sono le più rilevanti per i servizi urgenti; l'ITS-G5 è stato sviluppato specificamente a tale scopo ed è attualmente maturo, testato e standardizzato da ETSI, e già in uso;
- tecnologie di comunicazione a più lungo raggio che utilizzano la copertura di reti esistenti e collegano aree estese, anche se per servizi V2I meno urgenti. Le tecnologie cellulari 3G/4G sono mature e forniscono già una buona copertura in ampie zone dell'UE.

L'attuazione pratica dell'approccio di comunicazione ibrido, combinata alla necessità di garantire l'interoperabilità e la continuità dei servizi, impone determinate scelte tecnologiche che si riflettono in un insieme minimo di requisiti funzionali e tecnici per lo scambio interoperabile di messaggi tra stazioni C-ITS. Poiché ciò non dovrebbe costituire un ostacolo per ulteriori innovazioni, il regolamento garantisce che le tecnologie future possano essere integrate nel mix di comunicazione ibrida. In questo modo sarà possibile integrare ed utilizzare per applicazioni C-ITS tecnologie come l'LTE-V2X (una tecnologia di comunicazione cellulare a corto raggio) e il 5G, l'insieme delle tecnologie per le reti cellulari di prossima generazione.

In questo ambito l'Istituto Europeo per le norme di Telecomunicazioni (in inglese European Telecommunications Standards Institute, acronimo ETSI) ha pubblicato la specifica per Cooperative Awareness Basic Service – EN 302 637-2 e la specifica Decentralized Environmental Notification Basic Service – EN 302 637-3, I due standard definiscono i requisiti necessari per la gestione di applicazioni critiche di sicurezza di ITS cooperativi:

- il Cooperative Awareness Service consente lo scambio di informazioni tra utente della strada e infrastrutture, la cui reciproca consapevolezza e comunicazione è essenziale per garantire elevati livelli di sicurezza;
- il Decentralized Environmental Notification (DEN) Basic Service riguarda invece la presenza su strada di merci pericolose o di condizioni di traffico straordinarie.

### 3.4 C-ROADS PLATFORM

Una grande spinta per la diffusione dei C-ITS è stata data nel 2016 mediante il lancio della piattaforma C-Roads, un'iniziativa comune degli Stati membri dell'UE e dei gestori della rete stradale volta a testare e attuare servizi C-ITS alla luce dell'armonizzazione e dell'interoperabilità transfrontaliere, oltre che per connettere le attività di diffusione dei C-ITS, sviluppare e condividere congiuntamente le specifiche tecniche e verificare l'interoperabilità attraverso test trasversali. Grazie a investimenti significativi a livello nazionale e dell'UE (199 milioni di euro, di cui 107 milioni co-finanziati mediante il meccanismo per collegare l'Europa), sedici Stati membri hanno collaborato con l'industria per armonizzare i servizi C-ITS V2I e renderli interoperabili affinché, ad esempio, i messaggi relativi ai lavori stradali possano essere compresi in maniera uniforme in diversi ambienti geografici e da diversi costruttori di veicoli. Oltre a C-Roads, anche il consorzio di comunicazione CAR 2 CAR è servito per migliorare la coerenza dei messaggi e dei sistemi V2V e V2I: il Consorzio è stato fondato nel 2002 dai produttori di veicoli con l'obiettivo di sviluppare standard europei per i C-ITS, come prerequisito per l'interoperabilità dei sistemi che migliorano la sicurezza e l'efficienza stradale. Inoltre, il consorzio ha discusso strategie di implementazione realistiche e gestisce la tabella di marcia di implementazione graduale sviluppata. Il Consorzio spinge l'armonizzazione degli standard V2X cooperativi in tutto il mondo per salvare vite umane evitando il maggior numero possibile di incidenti, puntando verso un traffico senza incidenti (“vision zero”).

Tramite la piattaforma C-Roads si sviluppano progetti pilota di responsabilità di ciascuno degli Stati membri della piattaforma stessa. Parallelamente ai test e i piloti specifici nazionali, ogni Stato membro eseguirà dei test basati sui profili di comunicazione comuni concordati a livello della piattaforma C-Roads per raggiungere l'interoperabilità comune.

I servizi *Day 1* su cui si è concentrata la piattaforma e che sono stati sviluppati tramite progetti pilota negli stati membri sono i seguenti:

- **Avviso di veicolo/i lento/i o fermo/i e di traffico davanti a sé:** un veicolo lento o fermo può segnalare la sua presenza agli altri veicoli. Questo migliora la fluidità del traffico incoraggiando gli altri veicoli a prendere un percorso alternativo;
- **Avviso di lavori stradali:** un servizio con cui l'operatore stradale può comunicare con i conducenti attraverso la comunicazione I2V su lavori stradali, restrizioni e istruzioni;
- **Condizioni meteorologiche:** servizio utile per informare i conducenti sulle condizioni meteorologiche critiche che si prospettano, specialmente quando il pericolo può essere difficilmente percepito visivamente;
- **Veicolo di emergenza in avvicinamento:** informazioni fornite dal veicolo di emergenza per aiutare il conducente su come liberare la strada, anche quando la sirena e le luci potrebbero non essere ancora udibili o visibili;
- **Altre notifiche di pericolo:** l'operatore o il gestore stradale può comunicare con i conducenti attraverso la comunicazione I2V su lavori stradali, restrizioni e istruzioni;
- **Segnaletica a bordo del veicolo:** vengono fornite al conducente informazioni sulla segnaletica stradale pertinente. Le unità a bordo strada possono essere montate sui segnali stradali e sui punti chiave lungo le strade, informando i conducenti delle condizioni stradali potenzialmente pericolose che si trovano davanti, dei limiti di velocità e degli incroci in arrivo;
- **Limiti di velocità a bordo del veicolo:** le unità a bordo strada nei punti chiave lungo le strade possono trasmettere ai conducenti informazioni sui limiti di velocità;
- **Violazione del segnale / sicurezza degli incroci:** conosciuto anche come Red Light Violation Warning (RLVW), l'obiettivo principale di questo servizio è quello di ridurre il numero e la gravità delle collisioni agli incroci segnalati. I conducenti vengono avvertiti quando sono in pericolo di violare un semaforo rosso, o quando è probabile che un altro veicolo stia per fare una violazione del semaforo rosso;

- **Green light optimal speed advisory (GLOSA):** I semafori sono collegati a un'unità a bordo strada. Attraverso questa connessione, le informazioni possono essere trasmesse ai veicoli vicini informandoli del programma delle fasi del semaforo. Questo permetterà ai veicoli di calcolare la velocità ottimale di avvicinamento. Le informazioni sul tempo mancante al verde possono anche essere presentate ai conducenti;
- **Probe vehicle data:** conosciuti anche come Floating Car Data (FCD), i PVD sono dati generati dai veicoli. Contiene informazioni sulla posizione del veicolo, l'ora e il movimento. Possono essere trasmesse anche le azioni del conducente, ad esempio sterzata, frenata, pneumatico sgonfio, stato del tergicristallo, stato dell'airbag, condizioni meteorologiche e del manto stradale. I dati vengono utilizzati per gestire i flussi di traffico, la manutenzione delle strade e per avvertire gli utenti nei punti caldi, dove si accumula il pericolo di incidenti;
- **Smorzamento dell'onda d'urto:** lo smorzamento delle onde d'urto ha lo scopo di regolare il flusso del traffico, smorzando le onde di traffico/urto. I dati sul traffico in tempo reale sono utilizzati per fornire la velocità consigliata alle auto per smorzare le variazioni di velocità.

In particolare, i progetti sviluppati in Italia fanno parte di “C-Roads Italy”, “C-Roads Italy 2” e “C-Roads Italy 3”.

### C-ROADS ITALY

L'obiettivo principale del progetto C-Roads Italy, svolto tra il 2017 e il 2020, è quello di implementare e testare, in condizioni di traffico reale, sistemi cooperativi basati su tecnologie V2X, per le seguenti applicazioni di guida automatizzata:

- Truck Platooning;
- Highway Chauffeur con automobili;
- scenari combinati di camion e autovetture.

### C-ROADS ITALY 2

L'obiettivo principale progetto C-Roads Italy 2, iniziato nel 2018 e che terminerà nel 2023, è quello di studiare e testare progetti pilota, principalmente in condizioni reali di traffico

urbano (a Torino, Verona e nel Comune di Trento), un insieme di servizi C-ITS "Day1" e "Day1,5" come raccomandato dalla piattaforma C-ITS della CE, come ad esempio:

- Green Light Optimal Speed Advisory (GLOSA) [servizio C-ITS Day 1]
- Richiesta di priorità al semaforo da parte di veicoli designati [servizio C-ITS Day 1]
- Violazione dei segnali/sicurezza delle intersezioni [servizio C-ITS Day 1]
- Gestione e informazione dei parcheggi su strada - [servizio C-ITS Day 1.5]
- Informazioni sul traffico e Smart Routing [servizio C-ITS Day 1.5]

### C-ROADS ITALY 3

Da luglio 2020 è stato avviato il progetto C-Roads Italy 3 (2020-2023). Esso ha lo scopo di iniziare la graduale estensione operativa su più ampia scala nazionale dei servizi C-ITS, avvalendosi delle esperienze maturate con i progetti pilota precedenti. A tal fine si aumenteranno postazioni e servizi su alcune autostrade già partner del progetto pilota C-Roads Italy e si attrezzeranno nuove tratte autostradali (A1 – Bologna Firenze) e una nuova area urbana (Roma). Per permettere la diffusione dell'insieme dei servizi C-ITS, la progettazione della comunicazione e la relativa architettura saranno basate su soluzioni ibride, in particolare: "ITS-G5" e "rete cellulare a lungo raggio", come definito nella strategia europea C-ITS. Il concetto sarà conforme alla definizione del profilo ibrido della piattaforma C-Roads. Inoltre, lo sviluppo e l'implementazione del servizio saranno completamente interoperabili con i servizi C-ITS già sviluppati nell'ambito della piattaforma C-Roads.

## 3.5 PROGETTO SOLRED C-ITS MONITORING SYSTEM

Il progetto Solred, iniziato e sviluppato in Spagna nel 2016 e concluso nel 2020, si è posto come obiettivo generale quello di migliorare la diffusione a livello dell'Unione europea di tre "servizi Day-1,5" per il trasporto merci su strada, in particolare i seguenti:

- Informazioni sul rifornimento e la ricarica dei veicoli a combustibile alternativo;
- Informazioni sul traffico e instradamento intelligente;
- Guida contromano.

Questo è stato fatto attraverso la sperimentazione di un sistema integrato di gestione del carburante e della flotta, chiamato C-ITS Telemat. Il progetto pilota è stato sviluppato

attraverso l'utilizzo di una rete di monitoraggio che ha coinvolto circa 53 stazioni di servizio lungo la parte spagnola dei corridoi Atlantico e Mediterraneo. Telemat permette il calcolo automatico in tempo reale del percorso più intelligente e la stima automatica, l'autorizzazione e il pagamento dei rifornimenti necessari per completare un percorso pianificato. Inoltre, il sistema fornisce ai conducenti di veicoli pesanti e ai gestori delle flotte notifiche utili riguardanti la programmazione della manutenzione, la guida ecologica/sicura, informazioni sul traffico, nonché informazioni sul consumo di carburante stimato rispetto a quello reale.

### 3.6 PROGETTO CONCORDA - CONNECTED CORRIDOR FOR DRIVING AUTOMATION

Il progetto CONCORDA, lanciato nell'ottobre 2017 e concluso nel giugno 2020, finanziato dal Connecting Europe Facility, si è posto come obiettivi la preparazione delle autostrade europee per la guida connessa e automatizzata e il platooning di camion ad alta densità, fornendo servizi e tecnologie connessi adeguati in termini di interferenze e interoperabilità. Questo aiuterà a superare la frammentazione e a garantire l'interoperabilità tra i servizi Cooperative-ITS e i servizi armonizzati da C-ROADS in situazioni di traffico reale. Più specificamente, il progetto ha cercato di identificare il potenziale delle comunicazioni ibride, sicure e protette e delle infrastrutture digitali.

Gli obiettivi principali di CONCORDA sono i seguenti:

- Valutare le prestazioni dei sistemi di comunicazione ibridi in termini di affidabilità e disponibilità;
- Migliorare i servizi di localizzazione;
- Contribuire a un nuovo standard di valutazione degli standard esistenti come ETSI (European Telecommunications Standards Institute) e C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems);
- Contribuire all'interoperabilità e alla continuità dei servizi: le specifiche (standard nuovi o evoluti) saranno applicate su tutti i siti di test secondo le raccomandazioni della piattaforma C-ITS al fine di garantire l'interoperabilità e la continuità dei servizi testati nel progetto CONCORDA che mira all'interoperabilità dei servizi a livello europeo;
- Cooperazione con la Commissione europea, C-ROADS (un'iniziativa congiunta degli Stati membri europei e degli operatori stradali per testare e implementare servizi C-ITS alla luce dell'armonizzazione e dell'interoperabilità transfrontaliera),

SENSORIS (Sensor Ingestion Integration Specification), EATA (European Automotive Telecom Alliance), CEDR (Conference of European Directors of Roads), 5GAA (5G Automotive Alliance - reti mobili di quinta generazione) e NGMN (Next Generation Mobile Network).

CONCORDA ha anche valutato le prestazioni dei sistemi di comunicazione ibridi in termini di affidabilità, disponibilità e interoperabilità, combinando la connettività 802.11p e LTE in situazioni di traffico reale per migliorare il funzionamento dei servizi di localizzazione.

### 3.7 PROGETTO CITRUS – COOPERATIVE ITS FOR TRUCKS

Il Progetto CITRUS, sviluppato in Belgio tra l'ottobre 2016 e il settembre 2019, si è posto come obiettivo principale lo sviluppo di una companion app per gli autisti di camion che possa permettere una maggiore sicurezza stradale e una migliore efficienza del veicolo e della logistica.

I servizi per gli autisti sono presenti nella companion app, basata su un approccio C-ITS cellulare in combinazione con tecnologie di trasmissione geo-fencing, ovvero basate sulla localizzazione dei veicoli. Le informazioni che sono direttamente rilevanti per i conducenti di camion sono geo-diffuse sulle reti cellulari (ad esempio LTE). Questo evita l'utilizzo di costose strutture di comunicazione dedicate ITS-G5. Allo stesso tempo, il progetto permette ai fornitori di servizi ITS di affrontare il C-ITS come un'evoluzione naturale dei loro attuali servizi ITS. Questo evita al settore della logistica costi aggiuntivi per investire in unità o attrezzature di bordo dedicate. La companion app sviluppata nell'ambito di CITRUS prevede di implementare una serie di servizi Day-1 e Day-1.5. I servizi Day-1 sono:

- Avviso di ingorgo davanti a sé;
- Avviso di veicolo fermo davanti a sé;
- Avviso (mobile) di lavori stradali in corso;
- Regolazione dei segnali stradali in funzione dei camion.

I servizi Day 1.5 sono:

- Informazioni in tempo reale sul traffico specifiche per la logistica;
- Spedizioni intelligenti.

Uno dei principali obiettivi di questa implementazione pilota consiste quindi nella convalida dell'ecosistema impostato che consente una serie di preziosi casi d'uso C-ITS utilizzando le moderne reti cellulari e i servizi cloud di geo-messaggistica.

I servizi presenti all'interno della companion app, denominata "Truckmeister", sono stati sviluppati tramite due implementazioni diverse:

- MVP-1: le informazioni fornite ai conducenti nella prima implementazione sono avvertimenti in anticipo per ostacoli sulla strada, incidenti, lavori stradali, ingorghi, veicoli fermi e pericolo di sbandamento;
- MVP-2: le informazioni fornite ai conducenti in questa seconda implementazione sono informazioni in anticipo sulle fasi rosse e verdi del semaforo sulla N203a (circonvallazione di Halle). Il servizio testato è un servizio GLOSA.

### MVP-1

Nella prima implementazione i conducenti di camion possono ricevere molteplici avvisi di sicurezza, che sono:

- **Avviso di ingorgo davanti a sé**, che è composto dalle seguenti immagini:

Tabella 5 - Progetto Citrus, dashboard avviso di ingorgo

Tempo di avviso (distanza o tempo dall'evento)	Messaggio principale	Messaggio aggiuntivo
3 km / 2 min	 Lampeggiante <sup>1</sup>	Messaggio verbale: Ingorgo/traffico
1,5 km / 1 min	 Lampeggiante	Messaggio verbale: Ingorgo/traffico

750 m / 30 s	 <p>Fisso</p>	Messaggio verbale: Ingorgo/traffico
250 m / 10 s	Nessun messaggio	Nessun messaggio

1) Il messaggio sarà mostrato per tutto il tempo, lampeggiando ad una bassa frequenza di 1 Hz con l'80% di tempo di visibilità.

Nessun messaggio viene visualizzato a 250 m / 10 s. I conducenti di camion dovrebbero già adeguare la loro traiettoria e il loro comportamento di guida per evitare una possibile collisione o evitare di mettere in pericolo altri utenti della strada. Ripetere il messaggio in quel momento sarebbe in conflitto con il principio di sicurezza.

- **Avviso di veicolo fermo davanti a sé**, che è composto dai seguenti messaggi:

Tabella 6- Progetto Citrus, dashboard avviso di veicolo fermo davanti a sé

Tempo di avviso (distanza o tempo dall'evento)	Messaggio principale	Messaggio aggiuntivo
3 km / 2 min	 Lampeggiante <sup>1</sup>	Messaggio verbale e di testo: Veicolo fermo
1,5 km / 1 min	 Lampeggiante	Messaggio verbale e di testo: Veicolo fermo
750 m / 30 s	 Fisso	Messaggio verbale e di testo: Veicolo fermo
250 m / 10 s	Nessun messaggio	Nessun messaggio

- **Avviso di ostacolo**; in caso di ostacolo possono verificarsi due condizioni:
  - o Condizione 1: l'autista del camion incontra prima la congestione (che si è accumulata a causa del veicolo fermo/ ostacolo che blocca la corsia di emergenza o un'altra corsia), in quel caso dovrebbe essere fornito per primo l'avviso di ingorgo.
  - o Condizione 2: quando non si è ancora sviluppato un ingorgo, dovrebbero essere mostrati i seguenti messaggi di Ostacolo:

Tabella 7- Progetto Citrus, dashboard avviso di ostacolo

Tempo di avviso (distanza o tempo dall'evento)	Messaggio principale	Messaggio aggiuntivo
3 km / 2 min	 Lampeggiante <sup>1</sup>	Messaggio verbale e di testo: Ostacolo
1,5 km / 1 min	 Lampeggiante	Messaggio verbale e di testo: Ostacolo
750 m / 30 s	 Fisso	Messaggio verbale e di testo: Ostacolo
250 m / 10 s	Nessun messaggio	Nessun messaggio

- **Avviso di incidente (Incident);** in caso di incidente possono verificarsi due condizioni:
  - o Condizione 1: l'autista del camion incontra prima la congestione (che si è accumulata a causa del veicolo fermo/ ostacolo che blocca la corsia di emergenza o un'altra corsia), in quel caso dovrebbe essere fornito per primo l'avviso di ingorgo.
  - o Condizione 2: quando non si è ancora sviluppato un ingorgo, dovrebbero essere mostrati i seguenti messaggi di Incidente:

Tabella 8 - - Progetto Citrus, dashboard avviso di incidente (Incident)

Tempo di avviso (distanza o tempo dall'evento)	Messaggio principale	Messaggio aggiuntivo

3 km / 2 min	 Lampeggiante <sup>1</sup>	Messaggio verbale e di testo: Corsia chiusa
1,5 km / 1 min	 Lampeggiante	Messaggio verbale e di testo: Corsia chiusa
750 m / 30 s	 Fisso	Messaggio verbale e di testo: Corsia chiusa
250 m / 10 s	Nessun messaggio	Nessun messaggio

- **Avviso di incidente (Accident)**; in caso di incidente possono verificarsi due condizioni:
  - o Condizione 1: l'autista del camion incontra prima la congestione (che si è accumulata a causa del veicolo fermo/ ostacolo che blocca la corsia di emergenza o un'altra corsia), in quel caso dovrebbe essere fornito per primo l'avviso di ingorgo.
  - o Condizione 2: quando non si è ancora sviluppato un ingorgo, dovrebbero essere mostrati i seguenti messaggi di Incidente (Accident):

Tabella 9- Progetto Citrus, dashboard avviso di incidente (Accident)

Tempo di avviso (distanza o tempo dall'evento)	Messaggio principale	Messaggio aggiuntivo
3 km / 2 min	 Lampeggiante <sup>1</sup>	Messaggio verbale e di testo: Incidente

1,5 km / 1 min	 Lampeggiante	Messaggio verbale e di testo: Incidente
750 m / 30 s	 Fisso	Messaggio verbale e di testo: Incidente
250 m / 10 s	Nessun messaggio	Nessun messaggio

- **Avviso di pericolo di sbandamento**, che è composto dai seguenti messaggi;

Tabella 10- Progetto Citrus, dashboard avviso di pericolo di sbandamento

Tempo di avviso (distanza o tempo dall'evento)	Messaggio principale	Messaggio aggiuntivo
3 km / 2 min	 Lampeggiante <sup>1</sup>	Messaggio verbale e di testo: pericolo di sbandamento
1,5 km / 1 min	 Lampeggiante	Messaggio verbale e di testo: pericolo di sbandamento
750 m / 30 s	 Fisso	Messaggio verbale e di testo: pericolo di sbandamento
250 m / 10 s	Nessun messaggio	Nessun messaggio

- **Avviso di lavori stradali;** in caso di lavori stradali possono verificarsi due condizioni:
  - o Condizione 1: l'autista del camion incontra prima la congestione (che si è accumulata a causa del veicolo fermo/ ostacolo che blocca la corsia di emergenza o un'altra corsia), in quel caso dovrebbe essere fornito per primo l'avviso di ingorgo.
  - o Condizione 2: quando non si è ancora sviluppato un ingorgo, dovrebbero essere mostrati i seguenti messaggi di “Lavori stradali”:

Tabella 11- Progetto Citrus, dashboard avviso di lavori stradali

Tempo di avviso (distanza o tempo dall'evento)	Messaggio principale	Messaggio aggiuntivo
3 km / 2 min	 Lampeggiante <sup>1</sup>	Messaggio verbale e di testo: Lavori stradali
1,5 km / 1 min	 Lampeggiante	Messaggio verbale e di testo: Lavori stradali
750 m / 30 s	 Fisso	Messaggio verbale e di testo: Lavori stradali
250 m / 10 s	Nessun messaggio	Nessun messaggio

Sulla base dei messaggi sopra riportati sono state effettuate delle misurazioni per valutare l'effetto dell'app Truckmeister rispetto a parametri relativi al controllo del camion, alla sicurezza, all'efficienza e alla riduzione delle emissioni. In particolare, ci si aspettava che l'impatto degli avvisi tramite app potesse essere quello di decelerazioni più precoci e

prolungate per i camion nei quali il servizio di avviso è attivo, e cambi di corsia in anticipo; tutto questo potrebbe avvenire in due modi diversi:

- In primo luogo, gli avvertimenti potrebbero aumentare l'attenzione del conducente nei confronti del pericolo stradale imminente;
- Successivamente, l'allarme visualizzato nell'app potrebbe incoraggiare i conducenti a guidare in modo più cauto e a ridurre la loro velocità.

Andando ad analizzare le tracce GPS dei camion coinvolti nel progetto, la loro velocità punto per punto prima e dopo aver ricevuto eventuali messaggi di avviso, gli andamenti delle frenature dei veicoli e dei rilasci dell'acceleratore, è stato possibile notare che le decelerazioni provocate dagli avvisi sono di basso impatto, e che quindi la diminuzione complessiva della velocità dopo aver ricevuto l'avviso possa portare un limitato miglioramento della sicurezza stradale; nonostante ciò ci potrebbe essere un impatto positivo importante dovuto all'aumento dell'attenzione da parte del guidatore, che potrebbe andare ad ridurre sensibilmente il numero di incidenti causati da errori umani dovuti alla disattenzione.

### MVP-2

Nella seconda implementazione le informazioni fornite agli conducenti dei camion sono relative alle fasi di rosso e verde semaforico di un'intersezione di riferimento; questo servizio fornisce informazioni in tempo reale sui tempi delle fasi semaforiche, mostrandole sul dispositivo posto nella cabina del conducente. In particolare, i messaggi che vengono mostrati sono i seguenti:

- **Green Signal Countdown (GSC):** i camionisti ricevono informazioni sul tempo rimanente della fase verde prima che essa passi al giallo e al rosso;
- **Red Signal Countdown (RSC):** i camionisti ricevono informazioni sul tempo rimanente della fase di rosso prima che essa passi al verde;
- **Priority:** quando viene rilevato un camion in avvicinamento e quando il camion arriva 'troppo tardi' all'intersezione, il tempo di verde viene prolungato di dieci secondi a seconda delle condizioni del traffico. Questo prolungamento della fase verde ha lo scopo di ridurre le fermate al semaforo dei veicoli pesanti, e come tale, dovrebbe diminuire le emissioni di carbonio.

Tabella 12 - - Progetto Citrus, dashboard fasi semaforiche

Descrizione	Messaggio principale	Schermo intero del dispositivo
Quando un veicolo arriva al semaforo il tempo rimanente delle varie fasi è visualizzato tramite dei cerchi verdi o rossi che regrediscono nel tempo. Un cerchio completo corrisponde a un completo ciclo di tempo di verde o di rosso, rispettivamente.		

Analizzando i grafici provenienti dai dati dei sensori GPS dei veicoli e ricavando da essi i grafici di velocità e accelerazione si può notare che:

- non c'è quasi nessuna differenza nella velocità media percorsa dai i camion che usano il servizio TTG/TTR e quelli che non lo usano (chiamata “baseline” nei grafici). Quando ci si avvicina all'incrocio, in media, gli autisti iniziano a decelerare ad una distanza di 300 m, decelerano in modo più deciso a 150 m, e decelerano più

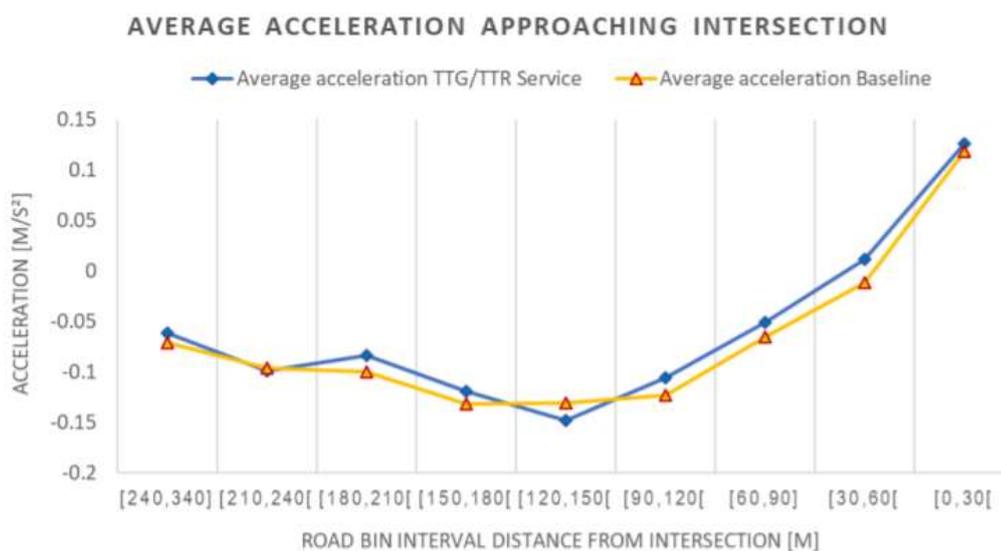


Figura 37 - Accelerazioni medie in approccio all'intersezione

dolcemente o iniziano ad accelerare quando arrivano al semaforo;

- Nella figura 38 si può notare come conducenti con il servizio TTG/TTR attivo guidano più velocemente nell'ultimo tratto prima dell'intersezione;

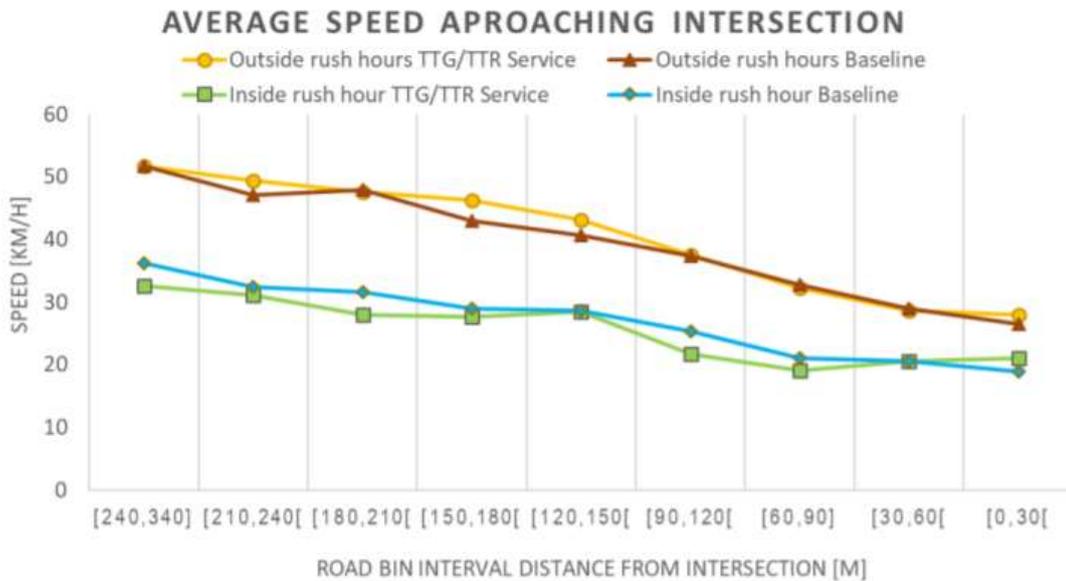


Figura 38 - Velocità media in approccio all'intersezione

Anche se nei grafici della velocità media e dell'accelerazione si possono notare lievi differenze, ci può essere un effetto considerevole nel tempo medio necessario per l'attraversamento dell'incrocio: infatti andando a misurare il tempo impiegato per lo svolgimento di ciascuna traiettoria si è notato che c'è un importante riduzione nel tempo di attraversamento delle intersezioni analizzate, soprattutto nelle ore di punta. Il guadagno di tempo deriva dalla combinazione di:

- Indicazione temporale del ciclo semaforico;
- Prolungamento del tempo di verde di 10 secondi quando i camion arrivano al semaforo (questo prolungamento potrebbe avere effetti negativi per gli utenti delle strade secondarie).

In figura si può notare il tempo medio risparmiato ad ogni intersezione, per le direzioni sulla strada principale:

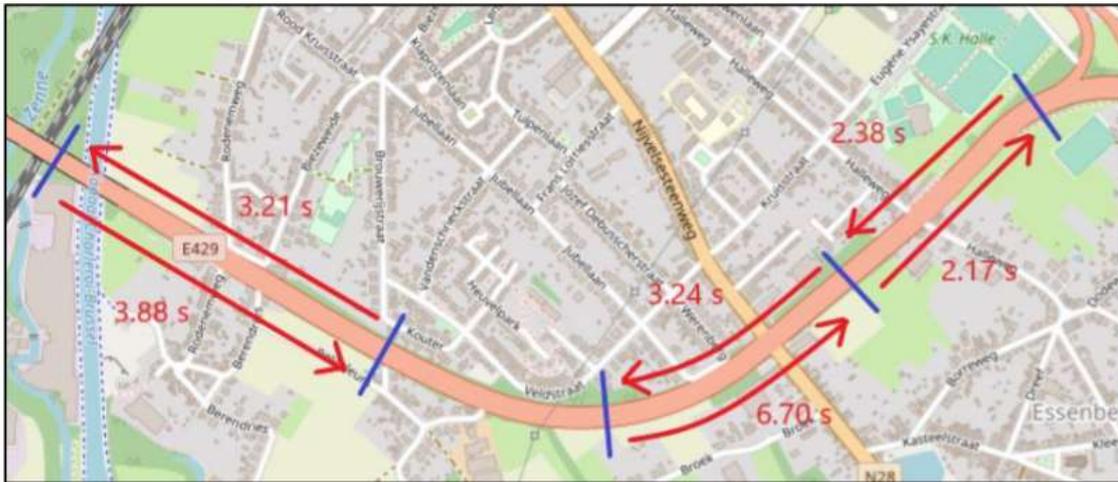


Figura 39 - Tempi medi guadagnati ad ogni intersezione

Inoltre, utilizzando il tool di simulazione VECTO sviluppato dalla Commissione Europea, è stato possibile determinare le emissioni di CO<sub>2</sub> e i consumi di carburante dei veicoli pesanti; è risultato che i veicoli che sfruttano il servizio GLOSA potrebbero ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> di 37g e il consumo di diesel di 12g per passaggio.

### 3.8 SISTEMI DI COORDINAZIONE DI VEICOLI PER TRASPORTO MERCI PERICOLOSE TRAMITE C-ITS

L'unico riferimento che è stato trovato in letteratura relativo allo studio di un sistema per il coordinamento di veicoli per il trasporto di merci pericolose tramite sistemi di trasporto intelligenti e cooperativi (C-ITS) è [5]. In particolare, nell'articolo si sviluppa il tema dell'utilizzo dei C-ITS per la sicurezza delle gallerie stradali, e si identifica la necessità di evitare che due veicoli adibiti al trasporto di merce pericolosa (Dangerous Goods Vehicle – DGV) percorrano una lunga galleria nello stesso intervallo temporale, o che siano reciprocamente poco distanti. Per assicurare questo, un DGV deve essere in grado di notificare agli altri DGV la sua esistenza, non solo nelle vicinanze sulla stessa strada, ma anche in zone che si trovano oltre la distanza di sicurezza sulla stessa o su altre strade. Se non ci fosse coordinazione, due DVG potrebbero arrivare all'imbocco della galleria contemporaneamente, o con un piccolo delta temporale. Per evitare ciò, sono stati sviluppati diversi metodi per la coordinazione:

- **Global Coordination (GC)**, a sua volta divisa in **Global Centralized Coordination (GCC)** e **Global Distributed Coordination (GDC)**

- **Local Coordination (LC)**

Per permettere la coordinazione, sono necessarie delle comunicazioni veicolo-veicolo (V2V) o veicolo-infrastruttura (V2I). Il messaggio contiene varie informazioni come carico, posizione, velocità, percorso, e sarà usato dal centro di controllo o da altri veicoli per stimare il tempo di arrivo o la distanza dalla galleria. In caso di coordinazione centralizzata, oltre alla raccolta delle informazioni dei DGV, il centro di controllo ha necessità di generare ulteriori messaggi di coordinazione per informare i veicoli sulla velocità consigliata da mantenere.

**DGV-GCC (Global Centralized Coordination)** è un metodo centralizzato che gestisce tutti i DGV in arrivo verso la galleria tramite un *ITS-Station* centrale. L'idea di base è quella di avere un luogo centralizzato che raccoglie informazioni su tutti i veicoli in avvicinamento. I veicoli mandano in modo continuo informazioni all'infrastruttura, in modo tale che il centro di controllo possa tracciare i DGV e definire delle istruzioni da dare ad essi. Attraverso la coordinazione centralizzata, il sistema DGV-GCC permette al centro di controllo di coordinare i veicoli in base al criterio FIFO (First-In-First-Out). La componente critica di questo sistema è l'efficienza della raccolta delle informazioni e la loro distribuzione ai DGV, infatti i DGV devono essere in grado di inviare informazioni in real-time e il centro di controllo deve essere in grado di definire delle istruzioni in tempo reale. In figura 40 si riporta lo schema di funzionamento di tale sistema:

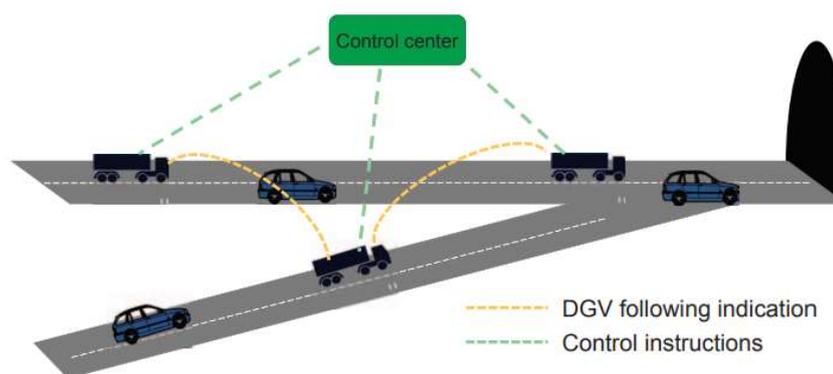


Figura 40- Sistema DGV-GCC

Per effettuare questo scambio di informazioni possono essere utilizzati i seguenti metodi:

- Reti di comunicazione pubblica: l'informazione è inviata al centro di controllo tramite reti 3G, 4G, 5G.
- Comunicazioni V2I: fanno parte del sistema C-ITS, e permettono ai veicoli di comunicare con l'infrastruttura.

La procedura proposta per la coordinazione è la seguente:

- Raccolta delle informazioni e invio al centro di controllo;
- Coordinazione dei DGV: il centro di controllo organizza tutti i DGV in avvicinamento alla galleria in modo centralizzato basato sul principio FIFO, ad esempio il primo DGV che entra nella zona di coordinamento sarà il primo ad arrivare alla galleria.
- Guida sicura: qualsiasi veicolo all'interno della zona di coordinamento seguirà le istruzioni del centro di controllo, mantenendo così una distanza temporale predefinita (ad esempio 180 secondi di distanza) dal suo predecessore.

Il sistema DGV-GCC necessita di un'infrastruttura di comunicazione V2I efficiente, che potrebbe limitare l'applicazione pratica.

**DGV-GDC (Global Distributed Coordination)** è un metodo che si basa sulla coordinazione distribuita, non è necessario un centro di controllo centralizzato, e la coordinazione fa affidamento alle comunicazioni V2V, nelle quali i messaggi sono inviati attraverso connessioni tra veicoli. La seguente figura illustra il concetto di DGV-GDC:

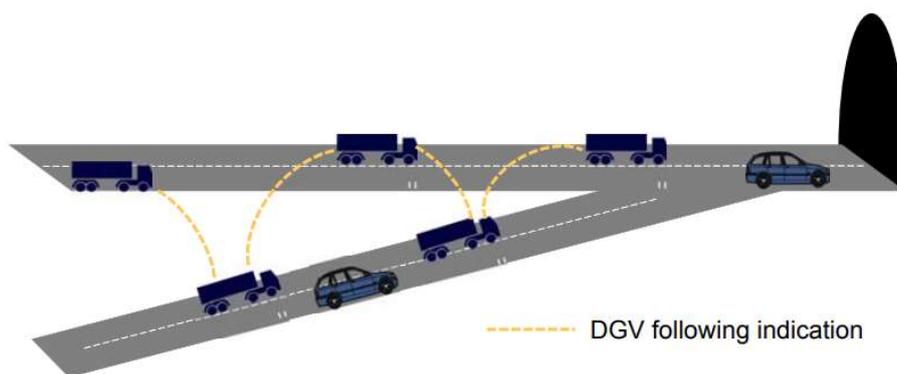


Figura 41- Sistema DGV-GDC

Lo scambio di informazioni tra veicoli in una determinata regione geografica è permesso tramite il Geo-Networking, un insieme di funzionalità di rete che permette la comunicazione ad hoc utilizzando le posizioni geografiche delle entità comunicanti. I messaggi di

coordinamento sono continuamente inoltrati fino a quando si raggiungono le aree geografiche di destinazione e tutti i veicoli all'interno dell'area sono informati.

Come si vede in figura, il DGV-GDC permette ai veicoli di seguire ciascun altro veicolo all'interno della zona di coordinazione. La procedura proposta per la coordinazione è la seguente:

- Disseminazione di informazioni geografiche: ciascun veicolo deve poter inviare informazioni agli altri DGV in una certa area geografica, di dimensioni dipendenti dalla velocità limite della strada e dal distanziamento temporale voluto.
- Coordinazione distribuita: tutti i veicoli “ascoltano” lo stato degli altri veicoli in modo continuativo. Un DGV che raggiunge una zona critica diminuirà la propria velocità per mantenere il distanziamento. Tutti i veicoli seguenti seguiranno la stessa procedura, creando così una sequenza globale per l'ingresso in galleria mantenendo il distanziamento predefinito.

Indipendentemente dall'infrastruttura, questo metodo può raggiungere gli stessi risultati del precedente in termini di coordinazione. È necessario però la diffusione di veicoli in grado di effettuare la comunicazione V2V.

Il sistema **DGV-LC (Local Coordination)** è un altro metodo per la coordinazione di DGV, e consiste nel controllare solamente i veicoli di testa che percorrono diverse strade e che sono i più vicini all'ingresso del tunnel, gli altri veicoli dovranno solamente seguire il veicolo precedente sulla stessa strada mantenendo un determinato distanziamento:

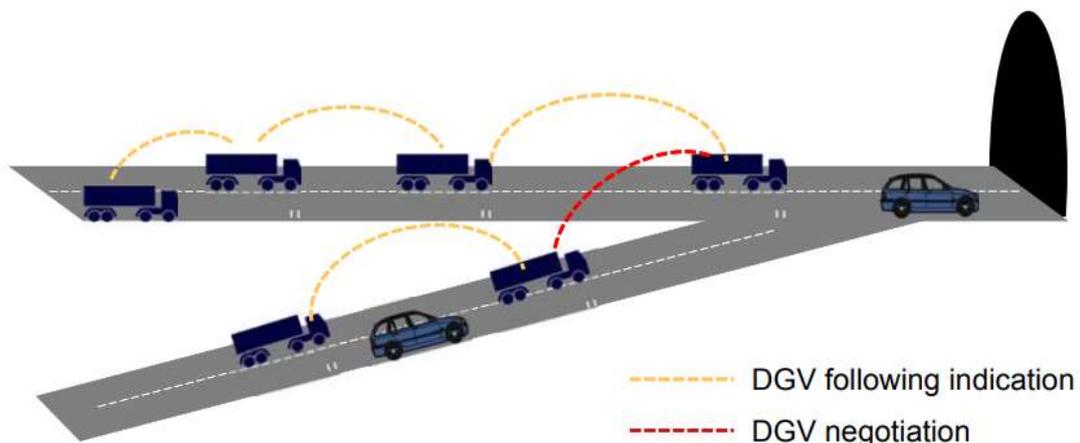


Figura 42- Sistema DGV-LC

- Per DGV che procedono sulla stessa strada, un DGV dovrà comunicare con gli altri veicoli presenti all'interno della distanza di sicurezza, così che i DGV seguenti possano correggere la propria velocità di conseguenza. Questo può essere fatto tramite V2V con o senza Geo-Networking.
- Per veicoli in arrivo alla galleria da strade diverse, il primo veicolo su ciascuna delle strade dovrà essere coordinato tramite comunicazioni V2V o V2I. Il tempo stimato di arrivo in galleria è usato per determinare l'ordine di attraversamento della galleria.

La procedura proposta per DGV-LC è la seguente:

- Coordinazione dei DGV sulla singola strada: per ciascuna strada, il DGV di testa manda informazioni ai veicoli che lo seguono all'interno della zona critica.
- Disseminazione locale di informazioni dal primo DGV: se un DGV è il primo veicolo in arrivo alla galleria, questo dovrà mandare informazioni anche a tutte le altre strade.
- Coordinazione locale: messaggi di coordinazione tra i primi veicoli di ciascuna strada permettono la negoziazione per la priorità di accesso alla galleria, in base al tempo di arrivo.

Per valutare i meccanismi di coordinazione proposti, è stata eseguita una simulazione preliminare attraverso il simulatore SUMO. Gli indicatori di performance scelti sono stati il tempo di viaggio, la velocità, e le emissioni di CO<sub>2</sub>. I risultati sono qui descritti per le due tipologie principali di sistemi, ovvero la coordinazione globale e la coordinazione locale:

- **Coordinazione globale (sia GDC che GCC):** ipotesi che la coordinazione inizi 15 km prima della galleria e ci sia un distanziamento di 180 secondi. Le seguenti figure mostrano l'andamento dello spazio percorso e della velocità all'aumentare del tempo di simulazione:

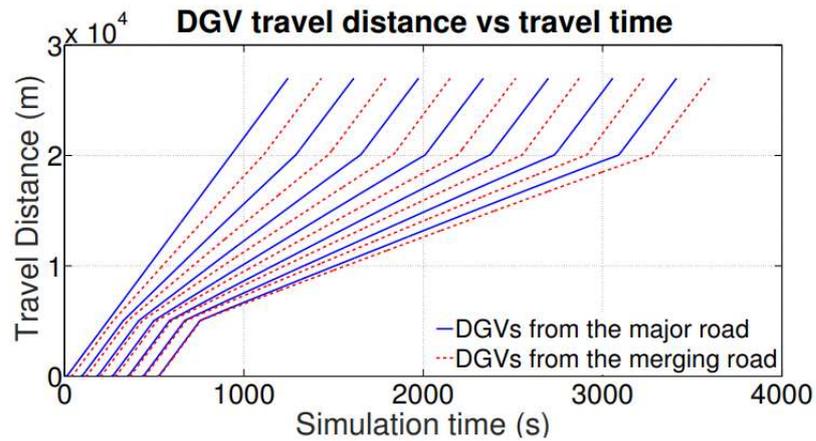


Figura 8- Coordinazione globale, andamento delle distanze percorse nel tempo

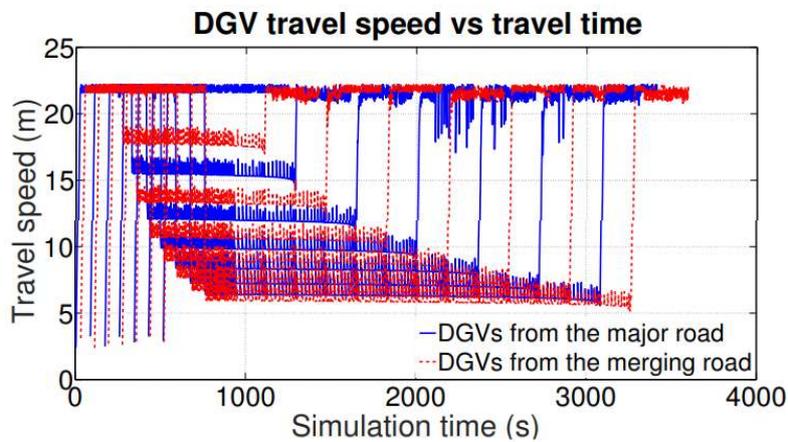


Figura 9- Coordinazione globale, andamento delle velocità nel tempo

Come descritto precedentemente, con la coordinazione globale, i DGV arrivano al tunnel seguendo il principio FIFO (First-In-First-Out), quindi a parte il primo DGV che è in grado di viaggiare alla velocità massima, tutti gli altri veicoli dovranno ridurre la loro velocità per mantenere il distanziamento prefissato.

- **Coordinazione locale (LC):** le figure seguenti mostrano invece i risultati del metodo di coordinazione locale. Comparati con i precedenti, i risultati sono simili, cambiano la sequenza di arrivo e i cambi di velocità:

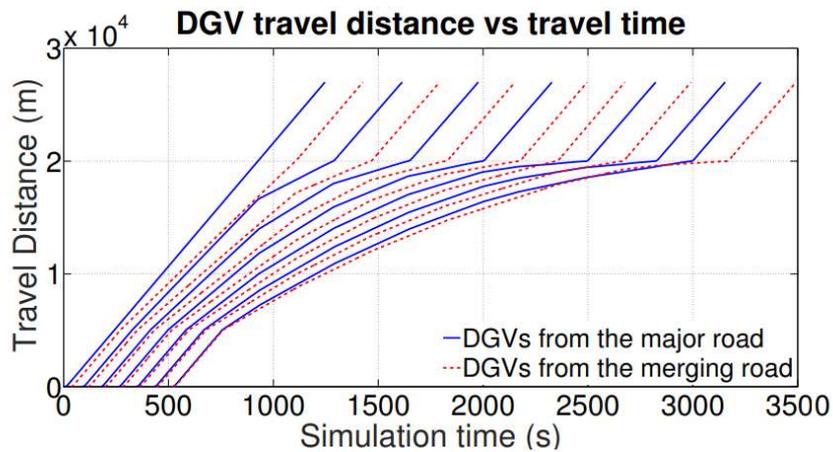


Figura 10- Coordinazione locale, andamento delle distanze percorse nel tempo

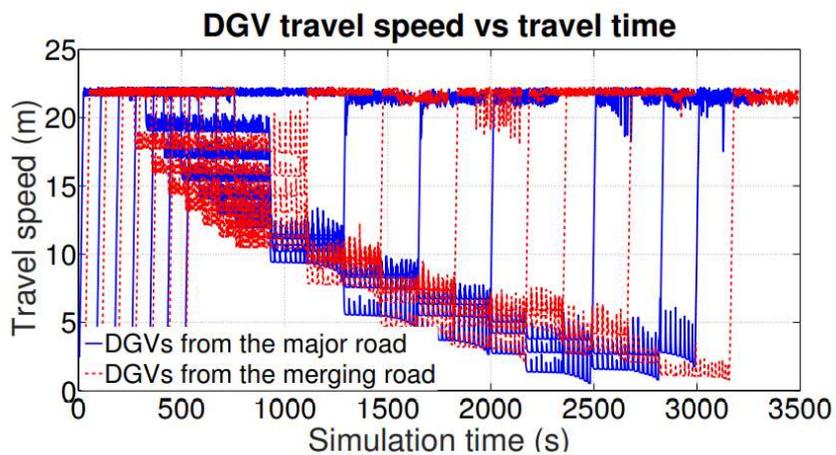


Figura 11- Coordinazione locale, andamento delle velocità nel tempo

Per quanto riguarda la differenza nella sequenza di arrivo, essa è dovuta al fatto che il principio FIFO vale localmente per i DGV di una stessa strada, ma potrebbe non essere valido per DGV provenienti da strade diverse: infatti può accadere che un DGV più lontano dal tunnel ma con una velocità maggiore venga programmato in anticipo rispetto a un DGV più vicino ma con velocità minore. Un'altra differenza è

la velocità di viaggio: il sistema di coordinazione locale (**DGV-LC**) coordina localmente i DGV, quindi finché un veicolo non diventa “leading” può mantenere una velocità maggiore.

Per entrambe le tipologie di coordinazione il tempo di viaggio aumenta significativamente, dal momento che i DGV devono rallentare per rispettare il distanziamento imposto e diminuire così la probabilità che avvenga un incidente che coinvolga due DGV. Per entrambi i metodi, le velocità sono influenzate dalla zona di coordinazione e dal distanziamento:

- Più lunga è la zona di coordinazione, maggiore sarà la velocità media di percorrenza, questo perché un’area di coordinazione maggiore fornisce ai DGV più tempo per adeguare la loro velocità a quella consigliata;
- Data una determinata zona di coordinazione, maggiore è il distanziamento richiesto, minore sarà la velocità media.

La coordinazione locale permette di mantenere una velocità media maggiore e quindi un tempo di viaggio minore in comparazione alla coordinazione globale; questo perché i DGV nella globale devono considerare i veicoli provenienti da tutte le strade, mentre nella locale è necessario considerare solo i veicoli sulla stessa strada.

Relativamente alle emissioni di CO<sub>2</sub>, la DGV-LC causa più emissioni della DGV-GC, perché nella coordinazione globale c’è più tempo per modificare la velocità e quindi tale processo può essere fatto in maniera più uniforme; mentre invece nella coordinazione locale le rapide variazioni di velocità che devono essere effettuate dai DGV quando diventano “*leading vehicle*” generano maggiori emissioni.

Questo sistema di coordinazione proposto per la sicurezza del trasporto in corrispondenza di lunghe gallerie potrebbe essere esteso e approfondito per ampliare la sua applicazione a tutta la rete stradale, diminuendo notevolmente il rischio del trasporto, aumentando il grado di monitoraggio delle merci pericolose, e aumentando il grado di sicurezza di tutti gli utenti della strada, delle persone potenzialmente coinvolte da un incidente, e dell’ambiente.

## 4. ANALISI DEGLI AMBITI DI APPLICAZIONE DEI C-ITS SUL TRASPORTO DELLE MERCI PERICOLOSE

### 4.1 INTRODUZIONE

Dall'analisi dello stato dell'arte dei progetti sviluppati nell'ambito trasporto merci pericolose e C-ITS è emersa una mancanza di studi e ricerche relativi all'utilizzo combinato dei C-ITS applicati al TMP. L'obiettivo del capitolo è quindi quello di andare a definire alcune aree di possibile impatto delle tecnologie ITS e C-ITS nell'ambito del trasporto di merci pericolose. Quella che seguirà sarà una trattazione non esaustiva dell'argomento, ma volta a inquadrare le possibili caratteristiche di alcune applicazioni andando a descrivere il funzionamento ipotizzato, le tecnologie abilitanti necessarie per l'utilizzo dei sistemi intelligenti, i vantaggi che potrebbero apportare queste nuove applicazioni al mondo del trasporto delle merci pericolose, gli svantaggi e i punti di attenzione da tenere in considerazione. Ciascuna applicazione proposta potrebbe poi essere oggetto di futuri studi più approfonditi.

Attualmente, i veicoli che trasportano carichi pericolosi circolano senza alcun obbligo di informazione nei confronti delle istituzioni preposte alla sicurezza e senza che si conoscano le caratteristiche del trasporto come la tipologia di merce trasportata, l'origine e la destinazione del percorso; questa caratteristica del trasporto comporta delle pericolose conseguenze:

- non permette di effettuare una verifica preventiva delle condizioni di viaggio potenzialmente rischiose a livello globale, ma solo su base volontaria da parte di alcuni degli operatori privati del trasporto merci pericolose;
- non permette il monitoraggio dei veicoli e la conoscenza di eventuali malfunzionamenti a bordo veicolo o nel rimorchio che contiene il carico pericoloso;
- rende incerte e pericolose le operazioni di soccorso, infatti:
  - l'attivazione degli allarmi è affidata all'autista o alla presenza fortuita sul luogo dell'incidente di altri utenti della strada dotati di telefono personale;
  - la mancata conoscenza della localizzazione esatta dell'incidente impedisce di intervenire in modo tempestivo;
  - la mancata conoscenza della classe e della quantità di merce trasportata può causare, da parte di chi interviene l'adozione di azioni inopportune, e quindi un aggravamento delle conseguenze.

L'utilizzo di C-ITS può migliorare le attuali condizioni del trasporto di merci pericolose, permettendo un aumento dei livelli di sicurezza, andando ad agire sulle potenziali cause dirette ed indirette che potrebbero causare incidenti; alcune delle cause dirette mitigabili grazie all'utilizzo di C-ITS sono ad esempio:

- distanza di sicurezza insufficiente;
- velocità eccessiva;
- guasto al veicolo o surriscaldamento di organi frenanti o componenti del motore;
- rilascio delle sostanze trasportate da una cisterna o da un contenitore per rotture o malfunzionamenti dei dispositivi di trattenuta del carico;
- sovratemperatura, sovrappressione o reazione chimica spontanea del carico;
- intensità e tipologia del traffico;

Tra le cause indirette si possono citare invece:

- distrazione del conducente;
- scarsa attenzione alla segnaletica e alle informazioni provenienti dall'infrastruttura e da eventuali sistemi di assistenza alla guida;
- scarsa consapevolezza del rischio derivante dal TMP;

La maggior parte di queste cause possono essere influenzate grazie all'utilizzo dei C-ITS, sfruttabili in diversi ambiti di applicazione che verranno descritti successivamente.

## 4.2 INFORMAZIONI RICAVABILI DALL'UTILIZZO DEI C-ITS E TIPOLOGIE DI COMUNICAZIONE

In generale, l'utilizzo dei sistemi di trasporto intelligenti cooperativi rappresenterebbe un importante cambiamento nella gestione delle merci pericolose. Ad oggi la gestione del trasporto di tali tipologie di sostanze non è sufficientemente ottimizzata ed efficace a mitigare i grandi rischi derivanti dal TMP. Nonostante siano state sviluppate delle piattaforme per il monitoraggio delle merci pericolose durante la fase di trasporto, la loro limitazione risiede principalmente:

- nell'applicazione ristretta, limitata al monitoraggio di pochi veicoli o flotte di veicoli di una singola azienda spedizioniera;
- nella mancanza o scarsità di condivisione delle informazioni.

L'avvento dei C-ITS può cambiare notevolmente il panorama della gestione e del monitoraggio: infatti i sistemi C-ITS si pensano come incorporati nativamente all'interno di ciascun veicolo di trasporto merci pericolose, e non solo installabili e utilizzabili su base volontaria. Questo renderebbe la comunicazione regolare e permetterebbe una gestione integrata e globale dell'intero settore del trasporto merci pericolose.

Oltre alle informazioni relative alla posizione dei veicoli, che permetterebbe un puntuale monitoraggio dei veicoli, i C-ITS garantirebbero anche il controllo della velocità dei veicoli, e la trasmissione di questa informazione a vari scopi. Un'altra informazione importante è quella relativa alla tipologia di merce trasportata e allo stato della merce: queste informazioni possono essere utilizzate per la gestione del rischio durante il trasporto ed anche nelle aree di sosta, andando a controllare ad esempio la distanza di sicurezza ed il distanziamento necessario tra veicoli che trasportano merci pericolose incompatibili tra loro. Infine, altri parametri per la sicurezza del trasporto sono quelli relativi alle condizioni del veicolo.

Riassumendo, i parametri sfruttabili dai C-ITS e utilizzabili per migliorare la gestione del trasporto di merci pericolose sono:

- Posizione aggiornata in tempo reale
- Velocità
- Tipologia di merce trasportata
- Stato della merce trasportata
- Stato delle condizioni del veicolo

Tutte queste informazioni, che possono essere raccolte in maniera estensiva tramite l'utilizzo di C-ITS, sono utili se utilizzate ad esempio per comunicare agli autisti di veicoli per trasporto merci pericolose alcuni comportamenti che sarebbe preferibile tenere per diminuire il rischio, o per migliorare la gestione integrata del TMP lungo l'infrastruttura. A seconda quindi dello scopo, alcune informazioni sfrutteranno prevalentemente la comunicazione V2I (Vehicle-to-Infrastructure) ed alcune la comunicazione V2V (Vehicle-to-Vehicle):

- **Vehicle-to-Infrastructure (V2I)** è un modello di comunicazione che consente ai veicoli di condividere le informazioni con l'infrastruttura all'interno della quale si trovano. La comunicazione V2I è tipicamente wireless e bidirezionale: i dati dai componenti dell'infrastruttura possono essere comunicati al veicolo su una rete ad hoc e viceversa. Questa comunicazione può essere utile per permettere ai gestori

dell'infrastruttura di conoscere la posizione dei veicoli, il loro stato, la merce trasportata, al fine di organizzare al meglio il TMP e cercare di minimizzare il rischio sfruttando le informazioni ricevute dai veicoli, e comunicando le istruzioni da seguire ai veicoli stessi.

- **Vehicle-to-Vehicle (V2V)** è un modello di comunicazione che consente ai veicoli di comunicare tra loro e condividere informazioni all'interno di un range di circa 300 metri. La tecnologia dietro la comunicazione V2V consente ai veicoli di trasmettere e ricevere messaggi omni-direzionali (fino a 10 volte al secondo), creando una "consapevolezza" a 360 gradi degli altri veicoli in prossimità. Questa comunicazione può essere utile, ad esempio, per permettere agli autisti dei veicoli di conoscere direttamente dai veicoli stessi l'eventuale presenza di altri mezzi di TMP con sostanze incompatibili e regolare di conseguenza la propria distanza di sicurezza.

### 4.3 AMBITI DI APPLICAZIONE DEI C-ITS

Le informazioni ricavabili dall'utilizzo dei C-ITS citate in precedenza possono essere utilizzate per migliorare il trasporto delle merci pericolose. In questo senso, ci si è chiesto quali potessero essere gli ambiti potenzialmente influenzabili favorevolmente dall'avvento dei C-ITS nel mondo del trasporto delle merci pericolose, e si sono identificate le seguenti aree di impatto:

- **Analisi statistica sui flussi di merci pericolose:** ad oggi il rilevamento dei dati per l'analisi statistica dei flussi di merci pericolose viene effettuato in maniera puntuale tramite varchi posizionati in punti strategici dell'infrastruttura; con i C-ITS si passerebbe ad un monitoraggio continuativo ed estensivo. Le informazioni più utili ricavabili dai C-ITS sono relative alla posizione del veicolo nel tempo e la sua velocità, e la tipologia di merce trasportata. La comunicazione V2I permetterebbe il passaggio delle informazioni ad una stazione di controllo centralizzata preposta al monitoraggio e all'analisi dei dati.
- **Tracciamento dei veicoli e dei carichi:** attualmente il tracciamento dei veicoli è limitato a pochi veicoli oppure a flotte di singole compagnie di trasporto, con i C-ITS tutti i veicoli saranno dotati di unità di bordo in grado di tracciare e comunicare posizione, velocità ed altre informazioni. In tal senso, le informazioni più utili ricavabili dai C-ITS sono relative alla posizione dei veicoli, alla velocità ed alla tipologia di merce trasportata. Anche in questo ambito la comunicazione V2I sarebbe

quella prevalente, e servirebbe a comunicare ad un centro di controllo tutte le informazioni sopra citate; tramite il processamento delle informazioni il centro di controllo può sfruttare messaggi I2V per comunicare eventuali istruzioni da seguire al fine di diminuire il rischio.

- **Monitoraggio efficienza del veicolo e delle condizioni del carico:** tramite i C-ITS è possibile monitorare i parametri di funzionamento dei veicoli di TMP raccolti dai sensori installati a bordo di ciascun veicolo, andando così ad individuare eventuali malfunzionamenti o avarie in tempo utile al fine di evitare degli scenari incidentali. Similmente, è possibile anche monitorare lo stato del carico di un veicolo di TMP: questo è importante per conoscere in tempo reale eventuali problemi che potrebbero avere avuto impatto sull'integrità delle sostanze pericolose trasportate ed agire tempestivamente al fine di evitare conseguenze catastrofiche. In questo caso le informazioni utili sono la posizione del veicolo e lo stato dell'efficienza del veicolo, oltre che allo stato delle merci trasportate. Con la comunicazione V2I si può informare una sala di controllo di eventuali malfunzionamenti o di anomalie pericolose dello stato della merce; con la comunicazione V2V si possono informare direttamente i veicoli limitrofi avvisando gli stessi su eventuali situazioni di pericolo che si potrebbero verificare.
- **Mitigazione del rischio durante il trasporto:** l'applicazione dei C-ITS può migliorare l'aspetto di mitigazione del rischio: essa attualmente si realizza raramente e limitatamente alle flotte di alcune aziende di trasporto; l'obiettivo sarebbe quello di rendere estensiva la pianificazione dei percorsi dei veicoli di TMP scegliendo il percorso di rischio minimo in base alle caratteristiche del percorso e della merce trasportata. Inoltre, sfruttando le informazioni derivanti dai C-ITS e da altre applicazioni proposte, come il tracciamento dei veicoli, si può effettuare una mitigazione real-time del rischio derivante dal TMP. Le informazioni più utili ricavabili dai C-ITS sono relative alla posizione del veicolo, la sua velocità, la tipologia e lo stato della merce trasportata ed anche lo stato del veicolo. La mitigazione del rischio potrebbe essere svolta da una sala di gestione del rischio centralizzata a cui arrivano le informazioni tramite comunicazioni V2I, e che istruisce successivamente i veicoli viaggianti sull'infrastruttura tramite comunicazioni I2V.
- **Prevenzione e controllo situazioni ad alto rischio:** i C-ITS possono essere utili nella prevenzione di situazioni ad alto rischio che possono generare incidenti;

attualmente, ad esempio, il rischio di eccessiva vicinanza tra veicoli di TMP con sostanze incompatibili non è controllato: con i C-ITS si potrebbe gestire questa situazione attuando un distanziamento obbligatorio in tempo reale in funzione della tipologia di merce trasportata. Allo stesso modo si potrebbe vietare la sosta o la fermata in aree di servizio a mezzi di TMP nel caso in cui le stesse aree siano già occupate da veicoli con sostanze incompatibili tra loro. Per questa applicazione è necessaria la raccolta di informazioni come la posizione, la velocità dei veicoli e la tipologia di merce trasportata. Il controllo di situazioni del genere può essere effettuato sia tramite comunicazioni V2I e I2V, nelle quali il veicolo comunica con il centro di controllo, che una volta elaborato il rischio istruisce il veicolo stesso sul comportamento da tenere, sia tramite comunicazioni V2V tra veicoli di TMP, i quali si organizzano in maniera autonoma per garantire una distanza di sicurezza adeguata. Altre applicazioni possono essere legate all'avviso di situazioni pericolose ed alla gestione dei passaggi dei veicoli in punti particolari.

- **Allertamento in caso di incidente o evento anomalo e supporto alla gestione delle emergenze:** con l'utilizzo dei C-ITS si migliorerebbe e si renderebbe più efficace la comunicazione tra veicolo e operatori di soccorso in seguito ad un evento incidentale o ad un evento anomalo. Utilizzando le informazioni come la posizione, la tipologia di merce trasportata, lo stato e le eventuali alterazioni della merce e lo stato del veicolo si andrebbero a ottimizzare le operazioni di soccorso riducendo i tempi. La comunicazione V2I permette di comunicare ad un centro di controllo ed alle sedi dei servizi di emergenza più vicine le condizioni del veicolo e della merce trasportata. Con comunicazioni I2V i centri di controllo sarebbero in grado di allertare i veicoli in avvicinamento riguardo il pericolo. Inoltre, quest'ultima funzionalità sarebbe possibile sfruttarla anche tramite la comunicazione V2V tra il veicolo incidentato e i veicoli limitrofi ad esso.

Si possono dunque riassumere in una vista tabellare le potenziali aree migliorabili dai C-ITS, tramite quali informazioni e con quale tipologia di comunicazione prevalente:

Tabella 13 - Aree di impatto C-ITS

Aree di impatto	Informazioni usate	Tipologia di comunicazione
Analisi statistica sui flussi di merci pericolose	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V2I</li> </ul>
Tracciamento dei veicoli e dei carichi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V2I</li> </ul>
Monitoraggio efficienza del veicolo e delle condizioni del carico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Stato delle condizioni del veicolo</li> <li>• Stato della merce trasportata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V2I</li> <li>• V2V</li> </ul>
Mitigazione del rischio durante il trasporto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> <li>• Stato della merce trasportata</li> <li>• Stato delle condizioni del veicolo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V2I</li> </ul>
Prevenzione di situazioni ad alto rischio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V2I</li> <li>• V2V</li> </ul>
Gestione delle emergenze e allertamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> <li>• Stato della merce trasportata</li> <li>• Stato delle condizioni del veicolo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V2I</li> <li>• V2V</li> </ul>

### 4.3.1 ANALISI STATISTICA SUI FLUSSI DI MERCI PERICOLOSE

#### DESCRIZIONE

Il monitoraggio dei flussi delle merci pericolose e la successiva analisi dei dati sono importanti per identificare le aree potenzialmente più a rischio a causa dell'elevato traffico di veicoli dedicati al TMP, e permettono dunque l'eventuale programmazione di interventi all'infrastruttura atti a diminuire il rischio. Ad oggi il monitoraggio non è una pratica diffusa ed utilizzata in modo estensivo: dall'analisi dello stato dell'arte i sistemi di monitoraggio sviluppati fino ad oggi sono stati caratterizzati dalla natura puntuale delle rilevazioni dei passaggi, effettuate ad esempio tramite portali (es. sistema di monitoraggio Autovie Venete) oppure, nel caso di monitoraggio tramite unità on-board, dalla limitatezza in termini di numero di veicoli monitorati e dalla scarsità di comunicazione delle informazioni. Con l'utilizzo dei C-ITS il monitoraggio sarebbe esteso a tutti i veicoli di TMP, indipendentemente dall'infrastruttura stradale percorsa, garantendo una copertura totale del monitoraggio dei flussi di merci pericolose sull'intera rete stradale.

#### INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA

Per effettuare il monitoraggio dei flussi è necessario che i veicoli di TMP siano in grado di comunicare la loro posizione nel tempo ad una sala di gestione del trasporto delle merci pericolose centralizzata, in modo tale che si possano poi analizzare i dati relativi ai flussi di tutti i veicoli ed utilizzarli per ricavare informazioni utili per la gestione e la programmazione di interventi infrastrutturali per la diminuzione del rischio legato al trasporto di merci pericolose in aree particolarmente esposte e trafficate. I veicoli devono essere dunque muniti di dispositivo di localizzazione e di rilevazione della velocità del veicolo per la comunicazione V2I della posizione nel tempo, ed in grado anche di comunicare la tipologia di sostanza trasportata definita in base alla classificazione specificata nell'ADR e legata al numero KEMLER/ONU.

#### VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO

La disponibilità di dati sui percorsi, la tipologia e la quantità trasportata delle merci pericolose è importante per la definizione di azioni, politiche, interventi con lo scopo di ridurre il rischio legato al trasporto. Infatti, analizzando i dati, si possono notare le aree più

trafficate da particolari tipologie di sostanze pericolose ed agire di conseguenza. Inoltre, è possibile individuare i principali poli attrattori e i percorsi maggiormente esposti al rischio, agendo con delle politiche di pianificazione dei percorsi, di limitazione o divieto al traffico di merci pericolose in alcune ore del giorno. La relativa semplicità dell'analisi dei dati risiede nel fatto che per tali valutazioni non è necessario che i dati vengano processati in tempo reale.

Il grande valore aggiunto che apporterebbe l'implementazione di un sistema C-ITS del genere sarebbe dovuto all'estensione del monitoraggio a tutti i veicoli di TMP, tramite l'obbligatorietà dell'installazione di unità on-board che comunichino con la sala di gestione del traffico merci pericolose: in questo modo si riuscirebbero ad avere delle informazioni complete sullo stato del TMP ed estese ad un territorio molto vasto, che sarebbero sicuramente più utili rispetto alle attuali informazioni parziali che derivano da progetti con un'estensione territoriale limitata.

Inoltre, i dati possono essere usati anche dalle compagnie spedizioniere per valutare l'efficacia del trasporto e il rispetto delle tempistiche delle consegne, oppure anche per effettuare delle valutazioni relative alla determinazione del percorso migliore durante la fase di pianificazione pre-trip del trasporto.

#### PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

La comunicazione tra un grande numero di veicoli TMP e le sale di gestione del trasporto comporta la problematica relativa alla mole di dati da gestire e analizzare da parte dei gestori del trasporto. Infatti, nonostante non sia necessario un processamento istantaneo dei dati per quest'applicazione, non sarebbe banale gestire una grande quantità di dati relativi a posizione, percorso e tipologia di sostanza trasportata per ciascun veicolo. La creazione e la gestione di un centro, o più centri di controllo in grado di avere tale potenza di calcolo sarebbe onerosa dal punto di vista economico e di investimento.

Un ulteriore punto di attenzione riguarda la diffusione dei dispositivi necessari per la rilevazione dei dati e la loro comunicazione alle sale di gestione: infatti, è probabile che il processo che porti ad una grande diffusione di questi dispositivi sia lento, nonostante esso possa essere aiutato da un testo normativo adeguato. Inizialmente i dispositivi potrebbero essere installati solamente sui nuovi veicoli, con il rischio di avere un indice di penetrazione

dei C-ITS non sufficientemente alto per fornire dati affidabili ed utilizzabili per ricavare informazioni sui flussi di merci pericolose.

### 4.3.2 TRACCIAMENTO DEI VEICOLI E DEI CARICHI

#### DESCRIZIONE

Il tracciamento dei veicoli e dei carichi tramite l'utilizzo di sistemi C-ITS permette la conoscenza puntuale della posizione di ciascun veicolo in tempo reale, e potenzialmente quindi anche la conoscenza della posizione di qualsiasi sostanza pericolosa in transito nell'area di analisi. I dati e le informazioni ricavabili possono poi essere utilizzati per altre applicazioni come la mitigazione del rischio durante il trasporto, che verranno approfondite in seguito.

Il tracciamento dei veicoli non si discosta molto da monitoraggio dei flussi espresso in precedenza dal punto di vista delle informazioni da raccogliere, ma utilizza diversamente gli stessi dati, analizzandoli e sfruttandoli in tempo reale.

Anche per questa applicazione è necessario l'allestimento di uno o più centri di controllo, a cui vengono comunicate le informazioni da parte di tutti i veicoli dotati di dispositivi C-ITS.

Inoltre, i dati provenienti dai veicoli come velocità e posizione possono essere usati in modo più generale per il controllo e la gestione dei flussi di traffico in tempo reale sull'infrastruttura stradale.

#### INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA

Similmente a quanto espresso per il monitoraggio dei flussi, anche per il corretto funzionamento del tracciamento dei veicoli e dei carichi è necessario che i veicoli possano comunicare posizione, velocità e merce trasportata in tempo reale ad un centro di controllo e gestione. Sui veicoli deve essere presenti quindi sensori per la localizzazione e per la comunicazione V2I della velocità e delle sostanze trasportate. Allo stato dell'arte, le tecnologie più mature e che forniscono una buona copertura in ampie zone dell'UE sono le reti cellulari 3G/4G, inoltre sta aumentando anche l'utilizzo della tecnologia 5G per la comunicazione a lungo raggio.

## VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO

L'utilizzo dei C-ITS e la loro diffusione permetterebbe un controllo in tempo reale di tutti i veicoli trasportanti merci pericolose: queste informazioni sono di fondamentale importanza per il loro utilizzo per la riduzione del rischio durante il trasporto. In particolare, il rischio è il prodotto di probabilità che avvenga un incidente per le conseguenze che l'incidente potrebbe portare: grazie a queste informazioni si ridurrebbe la probabilità di avvenimento di un incidente.

Inoltre, la comunicazione delle informazioni alla sala di controllo centralizzata permetterebbe una gestione integrata del trasporto merci pericolose, con la finalità di diminuire il rischio globale: infatti, ad oggi il singolo autotrasportatore non può avere conoscenza della presenza di altri veicoli TMP oltre il suo campo visivo; informazione invece a disposizione della sala di controllo.

La conoscenza della posizione istante per istante dei veicoli è alla base di altre applicazioni dei C-ITS che verranno descritte nel seguito, come la mitigazione del rischio durante il trasporto e la prevenzione di situazioni ad alto rischio.

## PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

I punti di attenzione del monitoraggio dei veicoli e dei carichi sono simili a quelli già espressi per il monitoraggio dei flussi, in quanto le informazioni alla base dell'applicazioni sono quasi coincidenti. La problematica aggiuntiva di questa applicazione è dovuta alla necessità di processamento ed utilizzo in tempo reale delle informazioni per un utilizzo efficace ed utile delle stesse.

Inoltre, un fattore potenzialmente limitante potrebbe essere il ridotto indice di penetrazione dei C-ITS durante le fasi iniziali del processo di diffusione di tali sistemi: in questo senso, la normativa relativa a tale processo rivestirà un ruolo fondamentale per la rapida diffusione di C-ITS,

Un'ulteriore punto di attenzione può essere legato all'accettazione da parte delle aziende spedizioniere della trasmissione dei dati dei propri veicoli in tempo reale per il monitoraggio da parte di un ente esterno; anche in questo caso sarà compito del normatore definire la

gestione dei dati e dei rapporti tra le varie aziende private e chi avrà la funzione di gestione integrata del monitoraggio dei veicoli e dei carichi.

### 4.3.3 MONITORAGGIO EFFICIENZA DEL VEICOLO E DELLE CONDIZIONI DEL CARICO

#### DESCRIZIONE

Il monitoraggio dell'efficienza del veicolo e delle condizioni del carico si basa sul controllo delle condizioni del veicolo effettuata tramite sensori di bordo (temperature motore, freni ecc), sul controllo dell'integrità del rimorchio contenente il carico e sul controllo di eventuali anomalie relative alle sostanze trasportate. In caso di situazione pericolosa i sistemi C-ITS comunicano con la sala di controllo la situazione per eventualmente allertare ed organizzare le squadre di soccorso. Inoltre, i C-ITS permetterebbero la comunicazione automatica al centro di controllo e ai veicoli nelle vicinanze di allarmi dovuti a lesioni alla cisterna o agli imballaggi, oppure in seguito a rotture delle valvole o di altri dispositivi di ritenuta del carico.

#### INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA

Le informazioni comunicate tramite tecnologia V2I e V2V per l'applicazione del monitoraggio dello stato del veicolo e del carico sono essenzialmente:

- La posizione del veicolo, che può essere utile per inviare eventuali soccorsi o avvisare veicolo nelle vicinanze del luogo interessato;
- Le condizioni del veicolo stesso e del carico trasportato.

Per quanto riguarda il controllo delle condizioni del veicolo, esso può essere effettuato tramite sensori di bordo che vanno a rilevare parametri come:

- temperatura dei componenti del rodiggio;
- temperatura dei componenti del motore;
- temperatura dei componenti del sistema frenante;
- rilevamento dell'incendio di un componente;
- rilevamento degli urti e dell'assetto del veicolo.

Per quanto riguarda il carico e il contenitore invece, le informazioni utili da essere rilevate sono:

- stato della cisterna e degli imballaggi prima della partenza;
- l'allentamento dei dispositivi di trattenuta del carico;
- il rilascio del carico da una cisterna
- il rilevamento della posizione e dell'integrità dei contenitori;
- le condizioni di carico della sostanza ADR prima della partenza;
- il rilevamento della temperatura dei gas e dei liquidi;
- il rilevamento della pressione dei gas.

### VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO

L'immediata comunicazione di malfunzionamenti o di situazioni anomale durante il trasporto permetterebbe di prevenire alcune tipologie di scenari incidentali: emblematico è il caso dell'incidente del traforo del Monte Bianco del 1999, nel quale persero la vita 39 persone, che fu causato da un incendio provocato dal surriscaldamento dei freni di un autocarro, il quale non trasportava nemmeno merci pericolose. Con dei sistemi simili a quelli qui proposti si andrebbero a scongiurare ripetizioni di questa tipologia di incidenti.

Inoltre, la rapida comunicazione permetterebbe anche di ridurre i tempi di intervento nel caso di rottura, guasto o malfunzionamento, permettendo al centro di controllo di gestire l'intervento di mezzi di soccorso ed organizzare il traffico eventualmente deviandolo verso su altri percorsi.

Inoltre, la comunicazione dello storico dei guasti e degli eventi anomali può anche servire da supporto alle aziende spedizioniere per migliorare la sicurezza del trasporto effettuato con le proprie flotte.

### PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

I punti di attenzione principali relativi a questa tipologia di applicazione sono principalmente legati alla velocità del processo di diffusione dei C-ITS e all'indice di penetrazione, questo perché l'efficacia dipende dalla quantità di veicoli che possono inviare informazioni al

centro di controllo, o da altri veicoli, e che sono in grado di ricevere istruzioni per diminuire il rischio.

Un altro punto di attenzione è relativo al corretto funzionamento ed alla manutenzione di tutti i sensori per il monitoraggio dei parametri del veicolo e del carico, i quali sono fondamentali per la corretta realizzazione e lo sfruttamento di questa tipologia di caso d'uso.

#### 4.3.4 MITIGAZIONE DEL RISCHIO DURANTE IL TRASPORTO

##### DESCRIZIONE

La mitigazione del rischio durante il trasporto permette di diminuire la probabilità che avvenga un incidente e quindi la diminuzione del rischio associata al TMP, dato che il rischio è il risultato del rapporto tra probabilità di accadimento e conseguenze di un incidente. Tramite il calcolo del rischio in tempo reale il centro di controllo, a cui vengono comunicati i dati sulla posizione di tutti i veicoli TMP, può inviare informazioni ai veicoli riguardanti i percorsi da tenere: in particolare, se si supera il rischio limite definito preventivamente, la stazione di controllo può prescrivere ai veicoli la deviazione del percorso, per evitare che in una determinata zona ci sia una densità di veicoli trasportanti sostanze incompatibili tra loro superiore a quella legata al concetto di rischio accettabile.

Ad oggi la mitigazione del rischio viene effettuata raramente, solamente da alcune aziende spedizioniere e principalmente pre-trip. Il primo step da effettuare per permettere la mitigazione del rischio relativo al TMP sarebbe quella di estendere e rendere obbligatoria la pianificazione dei percorsi sulla base di considerazioni legate al percorso di rischio minimo. Successivamente si potrebbero sfruttare le potenzialità dei C-ITS, superando le limitazioni della pianificazione pre-trip: essa considera solamente le condizioni teoriche di pianificazione del trasporto, non considerando fattori che nella realtà potrebbero modificare il percorso teorico, come ad esempio il traffico e gli ingorghi stradali, la chiusura di tratti stradali a causa di incidenti o il maltempo. Queste situazioni possono creare delle circostanze pericolose non prevedibile e programmabili nella fase precedente all'inizio del trasporto. Anche la programmazione dell'orario del trasporto rappresenta un tema importante per la mitigazione del rischio: infatti, il trasporto dovrebbe essere pianificato in orari in cui il traffico è minimo per evitare la presenza contemporanea di molti mezzi con materie pericolose e molti veicoli privati, questo comporterebbe un aumento del numero dei soggetti

potenzialmente interessati da un incidente. Il passaggio durante orari di morbida, eventualmente programmato pre-trip, potrebbe non essere rispettato per problemi relativi, ad esempio, al traffico; in questo senso, l'applicazione di sistemi C-ITS potrebbe far deviare i percorsi, fare attendere i veicoli in aree di sosta in tempo reale, diminuendo il rischio complessivo.

### INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA

Per realizzare la prevenzione del rischio durante il trasporto è necessaria la comunicazione V2I tra veicoli e centro di controllo: infatti, il centro di controllo deve essere a conoscenza innanzitutto della posizione dei veicoli e della tipologia di merce che essi trasportano per valutare se due o più veicoli con sostanze incompatibili tra loro siano ad una distanza troppo ravvicinata. Inoltre, grazie alla comunicazione della velocità dei veicoli, si possono prevedere scenari nel futuro e verificare il livello di rischio che si raggiungerà in una determinata zona e in un determinato istante temporale non superi il livello di rischio massimo accettabile. Anche la comunicazione delle informazioni riguardanti le condizioni di veicolo e di carico è importante per la mitigazione del rischio durante del trasporto, e permetterebbe al centro di controllo di prescrivere l'arresto immediato del veicolo.

I veicoli devono quindi essere muniti di dispositivi che possano rilevare queste informazioni e comunicarli V2I al centro di controllo dell'infrastruttura, che una volta elaborato il rischio può comunicare I2V eventuali necessità di modifiche del percorso ai veicoli TMP.

### VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO

Il primo momento di mitigazione del rischio che dovrebbe avvenire in modo estensivo durante la fase di pianificazione dei percorsi porta il vantaggio della scelta di percorsi a rischio minimo, considerando tutti i fattori esterni potenzialmente impattanti sul TMP. Successivamente la mitigazione del rischio durante il trasporto porta il grande vantaggio legato al calcolo in tempo reale del rischio stesso grazie alle comunicazioni che avvengono tra i veicoli e la sala di controllo, abilitate dai sistemi C-ITS. In questo modo, si potrebbe minimizzare la probabilità che ci sia un'alta densità di veicoli TMP con sostanze incompatibili tra loro in una determinata zona.

Il valore aggiunto che apporterebbe l'utilizzo di C-ITS per questa applicazione è legato all'aggiornamento in tempo reale del rischio a seconda di fattori esterni che potrebbero modificarlo, come il traffico, la chiusura di strade, la presenza di incidenti o ostacoli. Questi elementi potrebbero causare quindi la variazione del percorso programmato e conseguentemente aumentare la probabilità di presenza eccessivamente ravvicinata tra veicoli con sostanze incompatibili o la presenza contemporanea di veicoli TMP e un numero molto alto di utenti potenzialmente coinvolti in uno scenario incidentale.

#### PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

La mitigazione del rischio durante il trasporto potrebbe provocare un aumento dei chilometri percorsi dai veicoli ai quali viene prescritto il cambiamento del percorso programmato prima dell'inizio del viaggio. Conseguentemente si può riflettere in un aumento dei costi relativi al carburante e all'utilizzo del veicolo, come la manutenzione. Inoltre, potrebbero anche aumentare i tempi dei trasporti: questo potrebbe essere problematico sia per il rispetto degli orari di guida e dei tempi di pausa dei trasportatori, sia per la puntualità delle consegne delle sostanze pericolose. In questo senso le compagnie spedizioniere potrebbero essere contrarie allo sviluppo di applicazioni del genere prediligendo il guadagno economico rispetto ad un incremento nei livelli di sicurezza.

Infine, un fattore limitante la potenzialità dell'applicazione di C-ITS per la mitigazione del rischio durante il trasporto è l'indice di penetrazione nelle fasi iniziali: per sfruttare al massimo questi sistemi è necessario che tutti i veicoli siano dotati di dispositivi in grado di raccogliere, trasmettere e ricevere dal centro di controllo le informazioni precedentemente definite.

### 4.3.5 PREVENZIONE DELLE SITUAZIONI AD ALTO RISCHIO

#### INTRODUZIONE

Una strategia per migliorare la sicurezza del TMP è quella di prevenire le situazioni ad alto rischio che possono presentarsi durante il trasporto, come ad esempio:

- Eccessiva vicinanza tra due veicoli che trasportano sostanze incompatibili tra loro;
- Situazioni di traffico intenso, fine coda pericolosa, presenza di un veicolo in panne;

- Passaggio attraverso zone particolari, come centri urbani, industrie, gallerie, lunghi viadotti.

Per rispondere a queste problematiche e prevenire tali situazioni si possono sfruttare diverse applicazioni dei C-ITS, sia con comunicazione V2V che V2I o I2V; in particolare si propongono le seguenti:

- Mantenimento della distanza di sicurezza: Reverse Truck Platooning;
- Avviso situazioni pericolose;
- Gestione passaggi in punti particolari.

## **1. MANTENIMENTO DISTANZA DI SICUREZZA - REVERSE TRUCK PLATOONING**

### DESCRIZIONE

Il sistema proposto si basa sulla definizione di truck platooning: con questo termine si definisce il collegamento di due o più camion in un “convoglio”, mantenuti ad una certa distanza utilizzando la tecnologia di connettività e i sistemi di supporto alla guida automatizzata. Questi veicoli mantengono automaticamente una distanza fissa e ravvicinata tra di loro quando sono collegati per alcune parti di un viaggio, per esempio sulle autostrade. Il camion alla testa del plotone agisce come leader, con i veicoli dietro che reagiscono e si adattano ai cambiamenti nel suo movimento richiedendo poca o nessuna azione da parte dei conducenti. I benefici apportati dal truck platooning sono molteplici:

- Il truck platooning riduce il consumo di carburante e le emissioni di CO<sub>2</sub>. Dato che i camion possono guidare più vicini insieme, l'attrito dell'aria si riduce significativamente;
- Il platooning può ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> fino al 16% dai veicoli in coda e fino all'8% dal veicolo di testa;
- Il truck platooning aiuta a migliorare la sicurezza: infatti la frenata è automatica e immediata; i camion che seguono il veicolo principale hanno bisogno solo di un quinto del tempo rispetto al tempo di reazione di un autista tradizionale;
- Il platooning ottimizza il trasporto utilizzando le strade in modo più efficace, consegnando le merci più velocemente e riducendo gli ingorghi;

- In uno scenario futuro di guida autonoma, permette agli autisti di svolgere altri compiti, come il lavoro amministrativo o le telefonate.



Figura 43 - Esempio di truck platooning

Contrariamente rispetto a ciò che avviene nel trasporto di merci non pericolose, nel caso specifico del trasporto delle merci pericolose l'eccessiva vicinanza tra camion potrebbe essere un fattore negativo, ed addirittura potrebbe peggiorare la situazione di un eventuale scenario incidentale: infatti la combinazione di due o più sostanze pericolose non compatibili tra loro potrebbe causare delle conseguenze molto maggiori rispetto ad uno scenario incidentale coinvolgente solo una tipologia di merci. Per questo motivo è di fondamentale importanza evitare che camion che trasportano merci pericolose incompatibili viaggino ad una distanza di sicurezza non adeguata.

Da qui nasce l'idea di un'applicazione contraria al funzionamento del classico truck platooning, che possa garantire un distanziamento prefissato in termini di tempo o spazio a seconda delle merci trasportate dai diversi veicoli per evitare che, in caso di incidente di un veicolo, si possano verificare dei tamponamenti a catena che possano peggiorare le conseguenze. Inoltre, grazie alla comunicazione V2V i veicoli che trasportano merci pericolose possono scambiarsi informazioni relative a:

- Posizione assoluta e relativa di ciascun veicolo;
- Velocità puntuale per adattare e modificare la propria velocità, mantenendo sempre una distanza di sicurezza adeguata;
- Eventuali situazioni di pericolo o condizioni atmosferiche avverse;
- Attivazione di una frenata particolarmente brusca, dell'azionamento automatico del freno o della frenata di emergenza;

- Tipologia di merce trasportata, per definire in real-time pericoli di distanza di sicurezza non idonea tra veicoli che trasportano sostanze pericolose non compatibili tra loro.

Una applicazione simile è stata descritta precedentemente nella sezione 3.8, nella quale è stato studiato un sistema per il coordinamento di veicoli per il trasporto di merci pericolose all'interno delle gallerie. L'idea di base è la stessa del qui proposto reverse platooning, ovvero quella di un sistema in grado di garantire un'adeguata distanza di sicurezza tra i veicoli; la differenza sta nell'ambito di applicazione: uno più generico, applicabile teoricamente su tutta la rete stradale, l'altro più specifico, relativo solamente a una zona puntuale e critica dell'infrastruttura stradale come le gallerie.

### INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA

Dal punto di vista tecnologico, non c'è molta differenza tra le tecnologie che abilitano il truck platooning e il proposto reverse platooning: entrambe si basano principalmente su quei sistemi che permettono il controllo dello spazio tra i veicoli come l'Adaptive Cruise Control (ACC) e il Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC). Questi sistemi permettono il controllo longitudinale del veicolo:

- L' ACC permette di regolare la propria velocità in funzione della velocità del veicolo che precede, basandosi su un sistema di rilevamento mediante radar e sensori installati a bordo; il veicolo dotato di ACC manterrà la stessa velocità del veicolo che lo precede, tenendo dunque una distanza di sicurezza pressoché costante;
- Il CACC basato invece su una comunicazione wireless con il veicolo che lo precede (purché anch'esso sia dotato di CACC), permette di ricevere informazioni quali accelerazione e/o velocità in tempo reale dal veicolo, e adeguare tali valori alla guida, definendo quindi un sistema che riesca ad anticipare meglio e in tempi più rapidi i comportamenti di guida del veicolo che lo precede.

Il CACC fornisce un passo intermedio verso una visione a lungo termine di camion che operano in platoon completamente automatizzati strettamente accoppiati su corridoi di trasporto merci sia a lungo che a corto raggio. Infatti, ci sono importanti distinzioni tra

il CACC e il platooning autonomo di camion. In primo luogo, con il CACC, solo il controllo della velocità del camion sarà automatizzato, utilizzando la comunicazione V2V per integrare i sensori anteriori. I conducenti saranno ancora responsabili della conduzione laterale del veicolo agendo attivamente sullo sterzo, del mantenimento della corsia e del monitoraggio delle condizioni della strada e del traffico. In secondo luogo, mentre i sistemi di platooning dei camion sono basati su una strategia di controllo basata sul controllo della distanza, chiamata Constant Distance Gap (CDG), il CACC fa affidamento su una strategia di controllo dell'intervallo di tempo tra due veicoli chiamata Constant-Time Gap (CTG), dove poi la distanza tra i veicoli è proporzionale alla velocità.

Anche per il Reverse Platooning è necessario l'utilizzo del CACC: come già detto in precedenza, l'obiettivo è quello di mantenere una distanza di sicurezza abbastanza elevata tale da azzerare il rischio di tamponamento tra due veicoli di trasporto merci pericolose.

Il passaggio delle informazioni tra i veicoli che utilizzano il CACC è permesso dalla comunicazione vehicle-to-vehicle (V2V); la tecnologia dietro la comunicazione V2V consente ai veicoli di trasmettere e ricevere messaggi omni-direzionali (fino a 10 volte al secondo), creando una "consapevolezza" a 360 gradi degli altri veicoli in prossimità. Questi messaggi V2V hanno un range che supera i 300 metri e sono in grado di rilevare i pericoli oscurati dal traffico, dalla morfologia del territorio o dal meteo.

Lo stesso obiettivo può essere raggiunto anche tramite delle comunicazioni tra i veicoli e l'infrastruttura (V2I): in questo caso l'informazione riguardo la distanza di sicurezza da mantenere con i veicoli che precedono dovrà essere comunicata loro da apposite stazioni di gestione e controllo del traffico delle merci pericolose dislocate lungo la rete stradale.

### VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO

Il grande vantaggio che può portare l'applicazione di questo sistema è sicuramente in termini di miglioramento generale della sicurezza: grazie all'utilizzo del Reverse Platooning verrebbe eliminato completamente il rischio di collisione tra veicoli con merci pericolose incompatibili tra loro evitando le catastrofiche conseguenze di un tale

incidente. L'implementazione può avvenire per fasi in base anche all'evoluzione e alla maturità delle tecnologie in uso:

- In un primo momento il sistema potrebbe semplicemente allertare l'autista del veicolo della presenza di un altro veicolo adibito al trasporto di merce e dell'eventuale mancato rispetto della distanza di sicurezza adeguata, lasciando però il completo controllo del veicolo all'autista;
- Aumentando il livello di guida autonoma, il sistema potrebbe agire solamente in situazioni di pericolo andando ad azionare in autonomia la frenatura di emergenza nel caso in cui i due veicoli si avvicinino più di un certo limite massimo definito in precedenza;
- Nello step finale, all'interno di uno scenario di guida completamente autonoma, il sistema potrebbe gestire in autonomia freno e acceleratore in base ai messaggi sulla distanza, velocità, accelerazione che vengono ricevuti dagli altri veicoli connessi, rendendo l'autista più simile ad un passeggero.

#### PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

Il principale lato negativo del reverse platooning è legato al fattore che garantisce anche la sicurezza del sistema, ovvero la distanza di sicurezza. Infatti, garantendo il distanziamento adeguato tra i veicoli si va a diminuire la capacità delle corsie stradali con il rischio di creare problemi alla normale circolazione. Inoltre, l'obbligo del mantenimento della distanza potrebbe implicare un aumento dei tempi di percorrenza in situazioni particolari, e quindi eventuali ritardi nelle consegne dei carichi trasportati con relative conseguenze dal punto di vista economico per le compagnie spedizioniere. Particolare attenzione sarebbe poi da riporre nella gestione delle aree di sosta per i veicoli, infatti il mantenimento delle distanze in questi luoghi potrebbe essere problematico da affrontare.

Infine, in uno scenario di guida parzialmente autonoma in cui il conducente è ancora responsabile della marcia del veicolo, i sistemi di aiuto alla guida e di mantenimento della distanza di sicurezza potrebbero far distrarre l'autista e peggiorare la situazione dal punto di vista della sicurezza, creando in lui un eccessivo senso di sicurezza.

## **2. AVVISO SITUAZIONI PERICOLOSE**

### **DESCRIZIONE**

Grazie all'utilizzo dei C-ITS è possibile informare ed avvisare i conducenti dei veicoli potenzialmente interessati riguardo a situazioni di pericolo che si potrebbero creare nelle vicinanze della loro posizione come ad esempio incidenti, ingorgo del traffico, veicolo fermo, maltempo o condizioni metereologiche avverse, strada sdrucchiole, presenza di ostacoli sulla carreggiata, chiusura di una corsia e presenza di lavori stradali.

### **INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA**

Tutte queste situazioni possono essere comunicate tramite I2V da un centro di controllo che conosce la posizione puntuale dei veicoli e le condizioni esterne comunicate dai veicoli precedentemente transitati attraverso una zona in cui è presente un pericolo, ed è in grado di comunicare i messaggi precedentemente descritti; messaggi che fanno parte dei servizi prioritari "day 1" definiti nel Regolamento Delegato C (2019)1789. In questo modo il centro di controllo informa i veicoli su condizioni pericolose oltre il campo visivo dei conducenti, come ad esempio:

- Traffico intenso
- Presenza di incidenti
- Ostacoli sulla strada
- Maltempo (pioggia, neve, nebbia)
- Fattori esterni che hanno impatto sull'infrastruttura (frane, cedimenti, alluvioni)

Inoltre, anche l'utilizzo di comunicazione V2V può essere utile, permettendo il passaggio diretto tra i veicoli di informazioni come fine coda pericoloso, ingorgo del traffico, veicolo in sosta o in panne, presenza di incidente, azionamento automatico del freno e del freno di emergenza e maltempo.

### **VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO**

L'applicazione di un sistema del genere potrebbe garantire un aumento dei livelli di sicurezza dato dalla diminuzione della probabilità che avvenga un incidente, grazie alla conoscenza e alla consapevolezza delle condizioni esterne che viene fornita al

conducente del veicolo di TMP e che potrebbero essere potenziali cause di incidenti, come ad esempio traffico intenso, presenza di altri incidenti, maltempo, strada ghiacciata.

La consapevolezza del pericolo comunicato può rendere più attenta la guida dei conducenti, riducendo gli episodi di distrazione e i possibili incidenti correlati, i quali rappresentano una porzione importante della totalità delle cause degli incidenti durante il trasporto.

### PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

Affinché si possano sfruttare al massimo le potenzialità di questo caso d'uso, sarebbe ideale che il processo di diffusione dei sistemi in grado di sviluppare le funzionalità sopra descritte avvenga in maniera rapida e capillare: infatti, maggiore è il numero dei veicoli in grado di comunicare con il centro di controllo, maggiore sarà la precisione e l'affidabilità delle informazioni riguardo situazioni di pericolo.

Inoltre, sarebbe necessario garantire l'interoperabilità tra i sistemi installati sui veicoli di TMP e i veicoli privati, come ad esempio le automobili, in modo tale che ci sia la possibilità di comunicazione anche tra veicoli di diverse tipologie, aumentando così il flusso delle informazioni scambiate e aumentando la consapevolezza delle situazioni pericolose.

Infine, è ricorrente il tema della grande potenza di calcolo e del grande costo di investimento necessari per lo sviluppo di un centro di controllo che sia in grado di ricevere, elaborare, e trasmettere una così grande mole di dati di input.

### **3. GESTIONE PASSAGGI IN PUNTI PARTICOLARI**

#### DESCRIZIONE

Il trasporto di merci pericolose dovrebbe considerare con particolare attenzione il passaggio e la sosta dei veicoli TMP in punti particolari dell'infrastruttura e dell'ambiente in generale; questa applicazione dei C-ITS permetterebbe la gestione del trasporto TMP in punti come:

- le aree di sosta e di servizio, per evitare che un numero eccessivo di veicoli con sostanze incompatibili si fermino contemporaneamente nello stesso luogo;
- le gallerie e i lunghi viadotti, per permettere il mantenimento di una distanza di sicurezza ancora maggiore rispetto alla situazione normale per evitare scenari incidentali catastrofici, con gravi danni per gli utenti e per l'infrastruttura stessa;
- le aree urbanizzate, per evitare che vengano esposti ad un rischio elevato un grande numero di cittadini.

### INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA

Per l'attuazione di questa applicazione è necessario che i veicoli possano comunicare la loro posizione, la velocità e la tipologia di merce trasportata ad un centro di controllo tramite comunicazioni V2I e che possano poi ricevere le eventuali istruzioni derivanti dal centro di controllo. Inoltre, tramite comunicazioni V2V i veicoli potrebbero essere in grado regolare le distanze di sicurezza, anche tramite delle applicazioni simili al sopra descritto Reverse Truck Platooning.

### VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO

Il valore aggiunto derivante dall'applicazione di questo sistema si può esprimere ancora una volta nell'incremento della sicurezza in punti potenzialmente critici dell'infrastruttura stradale e dell'ambiente urbano in generale; punti che se danneggiati potrebbero arrecare ingenti danni a persone.

Inoltre, tramite l'utilizzo di questi sistemi si diminuirebbe il rischio di incidenti concatenati che coinvolgono sostanze incompatibili tra loro.

### PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

I potenziali problemi che potrebbero insorgere in seguito all'adozione di sistemi C-ITS per lo sviluppo di tale applicazione sono ad esempio:

- Rispetto dei turni dei conducenti, nel caso in cui si debbano fermare ad un'area di sosta per attenersi agli orari di guida-pausa e l'area fosse già occupata da altri veicoli TMP;
- Aumento dei tempi di percorrenza in galleria e viadotti per rispettare maggiori distanze di sicurezza con conseguenti ritardi nelle consegne e relative perdite dal punto di vista economico per le compagnie spedizioniere;
- Possibili ritardi nella consegna dei carichi in aree urbane se viene superato il rischio limite e viene interdetto temporaneamente l'accesso nelle aree più densamente abitate e con maggiore esposizione di cittadini.

#### 4.3.6 GESTIONE DELLE EMERGENZE E ALLERTAMENTO

##### DESCRIZIONE

La gestione delle emergenze e l'allertamento in caso di situazioni anomale o di incidenti è un campo applicativo dei C-ITS di grande importanza: infatti, la minimizzazione dei tempi di intervento delle autorità di controllo e dei soccorsi andrebbe a diminuire la gravità delle conseguenze di un evento incidentale. I sistemi C-ITS a bordo veicolo possono comunicare alla sala di gestione le seguenti informazioni indispensabili per la gestione tempestiva dei soccorsi:

- luogo dell'incidente,
- tipo e quantità della sostanza trasportata,
- generalità della azienda di trasporto e della azienda chimica committente del trasporto,
- condizioni al contorno (esposizione di persone al rischio di contaminazione, ecc.).

Inoltre, possono essere comunicati informazioni relative a un eventuale cambiamento dei parametri di stato della merce o dei parametri di funzionamento del veicolo; come sviluppo futuro, si potrebbero tenere in considerazione anche i parametri relativi alle condizioni psicofisiche del conducente, se fossero presenti sistemi che permettessero la rilevazione di tali parametri.

Inoltre, sarebbe efficace anche per i veicoli di trasporto merci pericolose lo sviluppo di sistemi simili all'eCall delle automobili: eCall è un sistema che fornisce un messaggio automatico ai servizi di emergenza dopo un incidente stradale che include il luogo preciso

dell'incidente. L'eCall a bordo del veicolo è una chiamata d'emergenza (una chiamata wireless E112) generata manualmente dagli occupanti del veicolo premendo un pulsante o automaticamente tramite l'attivazione di sensori a bordo del veicolo dopo un incidente. Quando viene attivato, il dispositivo eCall di bordo stabilisce una chiamata di emergenza direttamente ai servizi di emergenza più vicini; la chiamata vocale permette agli occupanti del veicolo di comunicare con l'operatore eCall ed allo stesso tempo fornisce una serie minima di dati all'operatore eCall che riceve la chiamata vocale. L'insieme di dati contiene informazioni sull'incidente, compresa l'ora, la posizione precisa, l'identificazione del veicolo, l'indicazione se eCall è stato attivato manualmente o automaticamente). La comunicazione automatica della tipologia di sostanza trasportata permetterebbe di preallertare i soccorritori, permettendo loro di giungere nel luogo dell'incidente con l'attrezzatura adeguata ad affrontare l'emergenza, soprattutto nel caso di incidenti che interessino sostanze particolari, che necessitano di particolari strumenti per la messa in sicurezza del luogo.

Infine, la comunicazione con gli altri veicoli circostanti permetterebbe di trasmettere informazioni riguardanti il pericolo, eventuali malfunzionamenti del veicolo o stati di emergenza in modo tale da allertare e permettere un adeguamento del comportamento alla guida e delle distanze di sicurezza.

#### INFORMAZIONI UTILIZZATE E TECNOLOGIA

Per lo sfruttamento dei vantaggi legati all'applicazione dei C-ITS nell'ambito della gestione delle emergenze è necessaria la comunicazione V2I tra i veicoli e la sala di gestione delle emergenze più vicina al luogo dell'incidente. Le informazioni come la posizione, la tipologia di merce trasportata, lo stato e le eventuali alterazioni della merce e lo stato del veicolo sono necessarie per ottimizzare le operazioni di soccorso riducendo i tempi di intervento delle squadre operative. Con comunicazioni I2V i centri di controllo sarebbero in grado di allertare i veicoli in avvicinamento riguardo il pericolo e di consigliare o obbligare i veicoli alla modifica del percorso pianificato; quest'ultima funzionalità sarebbe possibile sfruttarla anche tramite la comunicazione V2V tra il veicolo incidentato e i veicoli limitrofi ad esso.

## VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO

Grazie alla comunicazione automatica permessa dai C-ITS i tempi di intervento dei soccorritori e dei servizi di emergenza possono diminuire notevolmente: in questo modo si può diminuire il rischio totale legato al TMP agendo sulla riduzione della gravità delle conseguenze di un incidente con una maggiore probabilità di salvare vite e ridurre i danni legati a eventuali scenari incidentali. La comunicazione della tipologia di carico trasportato alla sala di gestione delle emergenze permetterebbe anche una migliore preparazione dell'intervento: infatti alcune sostanze pericolose potrebbero necessitare di attrezzature specifiche da parte dei soccorritori per mettere in sicurezza il luogo dell'incidente o per la gestione dell'emergenza.

Le informazioni comunicate dai veicoli e a disposizione delle sale di gestione delle emergenze possono essere anche utili per scopi di protezione civile, per permettere un allertamento rapido della popolazione a rischio nelle zone limitrofe ad un incidente (es. necessità di evacuazione di un'area a causa di nubi tossiche, possibili esplosioni ecc.).

L'applicazione dei C-ITS per la gestione delle emergenze e l'allertamento potrebbe aumentare la sicurezza complessiva anche grazie alle comunicazioni tra i veicoli per quando riguarda l'insorgere di situazioni di emergenza.

Infine, l'implementazione di sistemi del genere non dovrebbe causare particolari problemi dal punto di vista pratico, dal momento che sistemi simili, come ad esempio eCall, sono già diffusi nel mondo delle automobili ed anche obbligatori nelle automobili di nuova produzione; si tratterebbe quindi di un'estensione di tali sistemi, migliorata e che permetta la comunicazione di informazioni particolari legate al mondo del TMP.

## PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE

Come per la maggior parte delle applicazioni già descritte, uno dei punti di attenzione di questo tipo di sistema è la gestione della grande quantità di dati in arrivo alle sale preposte alla gestione delle emergenze; esse molto spesso sono già presenti sul territorio, ma dovrebbero essere adattate per consentire la ricezione dei messaggi provenienti dai veicoli e per permettere la comunicazione I2V agli altri veicoli in prossimità dell'incidente.

Anche per questo tipo di applicazione maggiore sarà la rapidità nella diffusione dei C-ITS, maggiori saranno i benefici attesi.

Inoltre, è necessario che vengano sviluppati e adottati dei piani di gestione delle emergenze e dei piani di gestione del traffico, in modo tale da poter rispondere in maniera rapida all'eventuale accadimento di un incidente, consentendo una migliore gestione degli scenari incidentali ipotizzabili, e limitando il più possibile le conseguenze alla circolazione.

#### 4.3.7 RIASSUNTO DELLE AREE DI IMPATTO

Di seguito di riporta una tabella che riassume i principali punti peculiari di ciascuna applicazione:

Tabella 14 - Riassunto delle aree di impatto

AREE DI IMPATTO	DESCRIZIONE	INFORMAZIONI E TECNOLOGIA	VANTAGGI E VALORE AGGIUNTO	PROBLEMATICHE E PUNTI DI ATTENZIONE
Analisi dei dati sui flussi	Monitoraggio dei flussi tramite C-ITS per analisi dei dati e successiva pianificazione di interventi per il miglioramento dell'infrastruttura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> <li>• Comunicazioni prevalentemente V2I</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoraggio esteso a tutti i veicoli TMP</li> <li>• Copertura capillare di aree estese, e non più dati solamente puntuali</li> <li>• Utilizzo dei dati da parte delle compagnie spedizioniere per valutazioni sul trasporto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande quantità di dati da gestire (anche non in tempo reale)</li> <li>• Costi di investimento per la creazione dell'infrastruttura a alti</li> <li>• Processo di diffusione dei C-ITS lento</li> <li>• Basso indice di penetrazione iniziale</li> </ul>
Tracciamento dei veicoli e dei carichi	Conoscenza in real-time della posizione di ciascun veicolo di TMP e della merce trasportata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> <li>• Comunicazioni prevalentemente V2I</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controllo in tempo reale di tutti i veicoli TMP</li> <li>• Applicazione utile per effettuare la mitigazione del rischio durante il trasporto e la prevenzione di situazioni ad alto rischio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande potenza di calcolo necessaria per per processamento in tempo reale delle informazioni</li> <li>• Basso indice di penetrazione iniziale</li> <li>• Accettazione da parte delle aziende private di trasmettere la posizione della propria flotta</li> </ul>
Monitoraggio efficienza del veicolo e delle	Controllo delle condizioni del veicolo e del carico con comunicazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Stato delle condizioni del veicolo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avviso in tempo reale di malfunzionamenti e guasti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vantaggi limitati se basso indice di penetrazione</li> </ul>

condizioni del carico	di eventuali situazioni anomale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stato della merce trasportata</li> <li>• Comunicazione e V2I e V2V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione dei tempi di intervento in caso di rotture, guasti malfunzionamento</li> <li>• Analisi dei dati sui guasti delle flotte da parte delle aziende</li> </ul>	<p>nella fase iniziale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo di diffusione potenzialmente lento</li> <li>• Corretto funzionamento e manutenzione dei sensori per il monitoraggio</li> </ul>
Mitigazione del rischio durante il trasporto	Diminuzione del rischio legato al TMP grazie alla programmazione e dei percorsi pre-trip e all'eventuale modifica dei percorsi in tempo reale nel caso di situazioni di emergenza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> <li>• Stato della merce trasportata</li> <li>• Stato delle condizioni del veicolo</li> <li>• Comunicazioni prevalentemente V2I</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcolo in tempo reale del rischio in base alla posizione e alle condizioni dei veicoli TMP</li> <li>• Utilizzo delle informazioni derivanti dall'infrastruttura per riprogrammare i percorsi e gli orari in tempo reale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibile allungamento dei percorsi dei veicoli necessario per diminuire il rischio</li> <li>• Aumento conseguente dei costi del trasporto</li> <li>• Possibili ritardi nelle consegne</li> <li>• Basso indice di penetrazione iniziale</li> </ul>
Prevenzione di situazioni ad alto rischio	Utilizzo C-ITS per evitare che le distanze di sicurezza non vengano rispettate, per avvisare i conducenti rispetto a situazioni pericolose, per gestire i passaggi in punti particolari dell'infrastruttura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Velocità</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> <li>• Comunicazione e V2I e V2V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimento automatico della distanza di sicurezza eliminando il rischio di collisione tra veicoli (Reverse Truck Platooning), migliorando la sicurezza</li> <li>• Conoscenza delle condizioni esterne che potrebbero essere causa di un incidente</li> <li>• Maggiore controllo dei punti critici delle infrastrutture e dell'ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibili problemi alla normale circolazione dovuto al minore sfruttamento della capacità dell'infrastruttura</li> <li>• Possibili ritardi e aumento dei tempi di percorrenza</li> <li>• Basso indice di penetrazione nelle fasi iniziali</li> <li>• Processo di diffusione dei C-ITS lento</li> <li>• Interoperabilità tra veicoli privati e C-ITS</li> <li>• Rispetto dei turni dei conducenti</li> <li>• Possibili ritardi nelle consegne</li> </ul>

Gestione delle emergenze e allertamento	Comunicazione tramite C-ITS di situazioni anomale, incidenti, emergenze per ottimizzare l'organizzazione degli interventi di soccorso e diminuire i tempi di intervento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posizione</li> <li>• Tipologia di merce trasportata</li> <li>• Stato della merce trasportata</li> <li>• Stato delle condizioni del veicolo</li> <li>• Comunicazioni V2I e V2V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicazione in tempo reale dell'accadimento di un incidente</li> <li>• Riduzione dei tempi di intervento delle squadre di soccorso</li> <li>• Scopi di protezione civile</li> <li>• Gestione in tempo reale della disruption</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande quantità di dati da gestire</li> <li>• Vantaggi limitati se il processo di diffusione sarà lento</li> <li>• Necessari piani di gestione del traffico e delle emergenze</li> </ul>
-----------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 5. 5. CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI

Il progresso tecnologico degli ultimi anni ha favorito lo sviluppo e la diffusione di sistemi di trasporto intelligenti (ITS) per migliorare i servizi che permettono lo spostamento di beni e persone lungo le infrastrutture di trasporto. Una particolare categoria di servizi ITS è rappresentata dai Cooperative Intelligent Transport System (C-ITS), ovvero sistemi in grado di comunicare e scambiare messaggi tra diversi soggetti, come ad esempio tra veicolo-infrastruttura (V2I) oppure tra veicolo-veicolo (V2V).

All'inizio del lavoro ci si è posti la domanda su quali potessero essere i settori dei trasporti potenzialmente impattabile da questa nuova tecnologia, e la risposta è ricaduta sul trasporto delle merci pericolose (TMP). Il TMP è un settore di primaria importanza per il corretto funzionamento di molte delle attività alla base della società odierna, ma allo stesso tempo viene spesso sottovalutato il rischio associato a questa tipologia di trasporto: infatti un incidente che coinvolge merci pericolose generalmente sviluppa delle conseguenze più significative di un normale incidente, soprattutto in presenza di sostanze non compatibili tra loro.

Si è pensato che l'utilizzo di C-ITS per il TMP potesse rappresentare un elemento innovativo e potesse dare un contributo importante per il miglioramento della sicurezza di tale tipologia di trasporto, cosa che non era quasi mai stata pensata precedentemente: infatti l'analisi della letteratura ha evidenziato un solo studio relativo all'applicazione di C-ITS, limitato al caso dell'utilizzo per il mantenimento della distanza di sicurezza tra veicoli di TMP all'interno delle gallerie autostradali. Questa limitatezza di studi relativi all'utilizzo di C-ITS applicati al mondo del trasporto delle merci pericolose ha guidato lo svolgimento di questo lavoro. Per questo motivo l'obiettivo è stato quello di definire e di approfondire quali potessero essere gli ambiti di applicazione dei C-ITS sul mondo del trasporto delle merci pericolose. Analizzando lo stato dell'arte dei C-ITS si sono determinate quindi le informazioni ricavabili da questi sistemi intelligenti, e partendo da esse si è cercato di raggiungere l'obiettivo principale del lavoro andando a definire i possibili ambiti di applicazione dei C-ITS sul TMP:

- Analisi statistica sui flussi di merci pericolose
- Tracciamento dei veicoli e dei carichi
- Monitoraggio efficienza del veicolo e delle condizioni del carico
- Mitigazione del rischio durante il trasporto

- Prevenzione e controllo situazioni ad alto rischio
- Allertamento in caso di incidente o evento anomalo e supporto alla gestione delle emergenze

Per ciascuno degli ambiti è stata fornita:

- una descrizione generale, specificando i possibili scenari di applicazione e casi d'utilizzo;
- un elenco delle informazioni necessarie per permettere il corretto funzionamento, e la tecnologia prevalente grazie alla quale trasmettere tali informazioni (V2I, V2V);
- i punti di forza e il valore aggiunto che possono apportare i C-ITS rispetto alla gestione del trasporto nella situazione attuale;
- i punti di debolezza e quelli sui quali porre maggiore attenzione per eliminare le criticità presenti nell'utilizzo dei C-ITS in alcuni ambiti di applicazione.

Il grande vantaggio che può derivare dall'utilizzo estensivo dei C-ITS applicati al TMP è quello dell'aumento della sicurezza stradale e della riduzione del rischio legato a tale tipologia di trasporto: i C-ITS potrebbero permettere sia una riduzione della probabilità di accadimento di un incidente agendo come strumenti di prevenzione, sia una riduzione delle conseguenze di un incidente, agendo come strumenti di protezione.

Un punto fondamentale e comune a tutti gli ambiti di applicazione è quello relativo alla creazione di uno o più centri di controllo per la gestione del trasporto merci pericolose che possano permettere l'accentramento delle informazioni derivanti dai veicoli dotati di C-ITS, garantendo la gestione integrata di questa tipologia di trasporto. La creazione di un centro di controllo potrebbe richiedere dei grandi costi di investimento iniziali ma sarebbe necessaria per il funzionamento ottimale della gestione del TMP tramite C-ITS.

Il punto di attenzione più grande e condiviso tra tutti i casi di utilizzo è probabilmente legato alla velocità di diffusione dei C-ITS: infatti i vantaggi portati da tali sistemi sono proporzionali al numero di veicoli dotati di C-ITS: più è alto questo numero, maggiori sono le informazioni che vengono comunicate al centro di controllo e maggiore è il grado di affidabilità delle stesse. Sarebbe quindi necessaria la definizione di una normativa adeguata a permettere la rapida diffusione dei C-ITS garantendo un alto indice di penetrazione sin dalle fasi iniziali del processo.

Infine, questo lavoro apre la possibilità a possibili sviluppi futuri: essi potrebbero riguardare l'analisi approfondita dei singoli ambiti di applicazione definiti precedentemente anche tramite sperimentazioni pratiche, definendo degli indicatori chiave di prestazione per poter valutare e quantificare gli effettivi benefici delle applicazioni dei C-ITS soprattutto in termini di miglioramento della sicurezza del trasporto. Inoltre, si potrebbe andare a sviluppare nel dettaglio la normativa di riferimento necessaria per regolamentare il processo di diffusione dei sistemi C-ITS all'interno del settore del trasporto delle merci pericolose definendo i soggetti responsabili della gestione del TMP e di tutti i dati relativi.



## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] S. Niu and S. V. Ukkusuri, “Risk Assessment of Commercial dangerous -goods truck drivers using geo-location data: A case study in China,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 137, no. December 2019, p. 105427, 2020, doi: 10.1016/j.aap.2019.105427.
- [2] P. Gandini, L. Studer, M. Ponti, E. Ferrante, N. Pasianotto, and T. Zaratini, “Monitoring dangerous goods transport on highways: The experience of autovie venete s.p.a.,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 82, no. April, pp. 283–288, 2020, doi: 10.3303/CET2082048.
- [3] Y. Xie, M. Yu, J. Fu, D. Chen, and C. Yang, “A hazmat transportation monitoring system based on Global Positioning System/Beidou Navigation Satellite System and RS485 bus,” *Proc. - 2016 9th Int. Congr. Image Signal Process. Biomed. Eng. Informatics, CISP-BMEI 2016*, pp. 1059–1063, 2017, doi: 10.1109/CISP-BMEI.2016.7852870.
- [4] G. Nowacki, C. Krysiuk, and R. Kopczewski, “Dangerous Goods Transport Problems in the European Union and Poland,” *TransNav, Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transp.*, vol. 10, no. 1, pp. 143–150, 2016, doi: 10.12716/1001.10.01.16.
- [5] L. Chen, A. Habibovic, C. Englund, A. Voronov, and A. L. Walter, “Coordinating dangerous goods vehicles: C-ITS applications for safe road tunnels,” *IEEE Intell. Veh. Symp. Proc.*, vol. 2015-Augus, no. Iv, pp. 156–161, 2015, doi: 10.1109/IVS.2015.7225679.
- [-] V. Torretta, E. C. Rada, M. Schiavon, and P. Viotti, “Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review,” *Saf. Sci.*, vol. 92, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1016/j.ssci.2016.09.008.
- [-] J. Vrabel, J. Jagelcak, J. Cermak, J. Ondrus, and J. Caban, “Tracing of the dangerous goods and its tracking in the intermodal transport mode-the case study,” *2020 12th Int. Sci. Conf. Automot. SAFETY, Automot. Saf. 2020*, 2020, doi: 10.1109/AUTOMOTIVESAFETY47494.2020.9293489.
- [-] M. O. Giacone, F. Bratta, P. Gandini, and L. Studer, “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,” Chem. Eng. Trans., vol. 26, pp. 579–584, 2012, doi: 10.3303/CET1226097.

- [-] A. Conca, C. Ridella, and E. Saponi, “A Risk Assessment for Road Transportation of Dangerous Goods: A Routing Solution,” Transp. Res. Procedia, vol. 14, pp. 2890–2899, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.407.
- [-] S. Niu and S. V. Ukkusuri, “Risk Assessment of Commercial dangerous -goods truck drivers using geo-location data: A case study in China,” Accid. Anal. Prev., vol. 137, no. December 2019, p. 105427, 2020, doi: 10.1016/j.aap.2019.105427.
- [-] S. Bęczkowska, W. Choromański, and I. Grabarek, “Risk and human factor in carriage of dangerous goods by road,” Transp. Probl., vol. 15, no. 4, pp. 19–28, 2020, doi: 10.21307/TP-2020-044.
- [-] L. Studer, P. Gandini, R. Iuliano, F. Borghetti, and G. Marchionni, “Road users exposed to harm from transportation of dangerous goods - Definition and estimation,” Chem. Eng. Trans., vol. 67, pp. 757–762, 2018, doi: 10.3303/CET1867127.
- [-] P. Gandini, L. Studer, F. Borghetti, R. Iuliano, and G. Pastorelli, “Assesment of Areas Exposed to Damage by Dangerous Goods Transportation: Application of Analytic Hierarchy Process Method for Land Covers Weighing,” IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC, vol. 2015-October, no. 1, pp. 2551–2556, 2015, doi: 10.1109/ITSC.2015.410.
- [-] F. Borghetti, P. Gandini, G. Pastorelli, L. Studer, and L. Bonura, “DESTINATION project: Data analysis relating to the transport of dangerous substances by road in 2015,” Chem. Eng. Trans., vol. 67, pp. 781–786, 2018, doi: 10.3303/CET1867131.

[https://www.confindustria.ud.it/schede/get\\_file\\_scheda/16905/19226](https://www.confindustria.ud.it/schede/get_file_scheda/16905/19226)

<http://www.ilmondodeitreni.it/irmp.html>

<https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=3653#:~:text=Il%20Kemler%2D%20ONU%20%20C3%A8%20un,tipo%20di%20pericolosit%C3%A0%20della%20stessa>

<http://www.mercipericolose.org/etichette-di-pericolo-adr>

<https://www.gcerti.it/uni-iso-39001-sicurezza-stradale/>

<https://www.sicurezzascanavino.it/News/129/SICUREZZA-NEL-TRASPORTO-STRADALE--ISO-39001:2016->

<https://quiautovie.it/2018/08/08/monitoraggio-merci-pericolose/>

<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/ambiente/destination-conoscere-trasporto-merci-pericolose-come-strumento-tutela-territorio>

[http://www.ptadestination.net/media/news/depliant\\_analisi\\_dati\\_2015.pdf](http://www.ptadestination.net/media/news/depliant_analisi_dati_2015.pdf)

[http://www.ptadestination.net/media/news/Convegno\\_finale\\_-\\_Modello\\_di\\_analisi\\_del\\_rischio\\_TMP\\_-\\_RP\\_-\\_Orso\\_Giacone.pdf](http://www.ptadestination.net/media/news/Convegno_finale_-_Modello_di_analisi_del_rischio_TMP_-_RP_-_Orso_Giacone.pdf)

[http://www.ptadestination.net/media/news/Convegno\\_finale\\_-\\_SIIG\\_-\\_Politecnico\\_-\\_Borghetti.pdf](http://www.ptadestination.net/media/news/Convegno_finale_-_SIIG_-_Politecnico_-_Borghetti.pdf)

<http://atti.asita.it/ASITA2015/Pdf/049.pdf>

<http://interreg-maritime.eu/web/lose/checosarealizza>

<http://interreg-maritime.eu/web/omd/checosarealizza>

[http://www.aipss.it/Direttiva\\_Ue-%202019-1936.html](http://www.aipss.it/Direttiva_Ue-%202019-1936.html)

<http://documenti.camera.it/leg18/dossier/Testi/ES028.htm>

[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=PI\\_COM:C\(2019\)1789](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=PI_COM:C(2019)1789)

[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=PI\\_COM:C\(2019\)1789&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=PI_COM:C(2019)1789&from=EN)

<https://www.c-roads.eu/platform.html>

<https://ertico.com/concorda/>

<https://trimis.ec.europa.eu/project/connected-corridor-driving-automation#tab-outline>

[https://ec.europa.eu/inea/sites/default/files/its\\_ cefh2020\\_projects\\_2017.pdf](https://ec.europa.eu/inea/sites/default/files/its_ cefh2020_projects_2017.pdf)

<https://www.citrus-project.eu/>

[https://www.acea.auto/files/Platooning\\_roadmap.pdf](https://www.acea.auto/files/Platooning_roadmap.pdf)

[https://path.berkeley.edu/sites/default/files/cacc\\_truck\\_platooning\\_finalreport.pdf](https://path.berkeley.edu/sites/default/files/cacc_truck_platooning_finalreport.pdf)

<https://tecnologico.wiki/>

[https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/esave/esafety\\_measures\\_unknown\\_safety\\_effects/ecall\\_en](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/esave/esafety_measures_unknown_safety_effects/ecall_en)