

La valutazione del rischio di sistemi infrastrutturali complessi

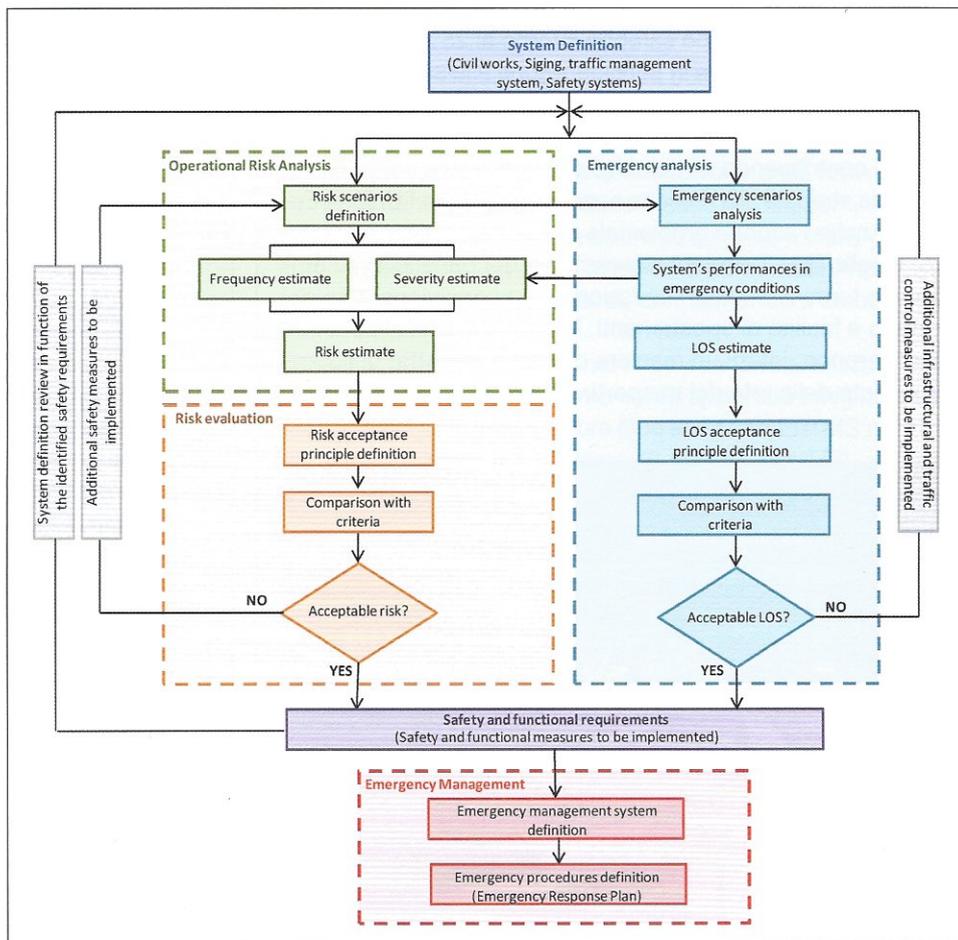
PROMUOVERE UNA MOBILITÀ INTELLIGENTE E SOSTENIBILE: SOLUZIONI INNOVATIVE PER LA GESTIONE DI SISTEMI INFRASTRUTTURALI INTERCONNESSI E MULTIMODALI IN FASE DI PROGETTO E TECNOLOGIE BASATE SU SISTEMI AVANZATI DI COMUNICAZIONE E DI GESTIONE DELLE INFORMAZIONI

Lorenzo Domenichini*

Flavio J. Caputo**

Nella gestione di un sistema infrastrutturale ogni decisione operativa deve essere assunta considerando un insieme di informazioni che tiene conto delle condizioni correnti di deflusso del traffico all'interno della rete, del funzionamento dell'infrastruttura e delle sue attrezzature, delle condizioni atmosferiche e dell'evoluzione nel breve-medio termine di queste condizioni, oltre che della sicurezza della circolazione di mezzi, persone e beni all'interno del sistema e di considerazioni ambientali e socio-economiche.

Anche l'evoluzione attesa nei prossimi anni dei sistemi di informazione all'utenza contempla la necessità di introdurre nelle valutazioni degli itinerari suggeriti e del tempo di viaggio la valutazione previsionale delle condizioni di funzionamento del sistema, tenuto conto anche della probabilità che nelle diverse opzioni possibili gestionali alternative si presentino eventi in grado di degradare le prestazioni del sistema, fino a bloccarlo, nel caso di condizioni ambientali estreme o di gravi incidenti, e del conseguente livello di rischio che caratterizza ciascuna delle diverse opzioni.



1. Il diagramma di flusso del processo di definizione del sistema di gestione del rischio



Il programma strategico di ricerca e sviluppo avviato di recente in Europa sotto la sigla Horizon 2020 sottolinea la necessità di sviluppare soluzioni innovative per la gestione cooperativa di sistemi infrastrutturali interconnessi e multimodali e tecnologie abilitanti basate su sistemi avanzati di comunicazione e gestione delle informazioni con l'obiettivo di promuovere una mobilità intelligente e sostenibile, che mantenga prioritaria l'esigenza di sicurezza degli utenti e la loro pronta messa in allerta in caso di potenziali situazioni di rischio.

La problematica rientra all'interno del tema generale della gestione del rischio operativo di un sistema infrastrutturale, oggetto di una recente pubblicazione dall'AIPCR [1] e la cui valutazione è al centro del Sistema di Gestione della Sicurezza (Safety Management System - SMS) adottato dalla UK Highway Agency mutuando tecniche descritte in normative di differente ambito di applicazione.

L'SMS di un'infrastruttura costituisce una attività da sviluppare a tutti i livelli di gestione di un sistema infrastrutturale e comporta, tra l'altro, la valutazione del rischio operativo al momento del progetto di una nuova infrastruttura o dell'adeguamento di una strada esistente.

Il presente lavoro intende offrire un contributo metodologico di tipo sistemico alla valutazione del rischio operativo di sistemi autostradali complessi. L'approccio proposto è particolarmente rivolto al rischio degli utenti dell'infrastruttura per danni diretti fisici o socio-economici, ma potrebbe essere esteso all'occorrenza ad altre tipologie di danno (ad esempio property damages o danni ambientali).

Un accenno, infine, viene fatto all'architettura informatica all'interno della quale il rischio operativo di una infrastruttura può essere opportunamente gestito.

Il tema trattato dal presente articolo è già stato oggetto di presentazione nell'ambito del Workshop Internazionale sulla Gestione del Rischio Infrastrutturale organizzato dal Comitato Tecnico PIARC TC 1.5 "Gestione del Rischio" in collaborazione con il Politecnico di Milano il 28 Maggio 2014 a Milano.

Definizione di un sistema di gestione del rischio

L'analisi delle condizioni di sicurezza e di rischio di molteplici situazioni infrastrutturali presentanti particolari caratteristiche geometriche o compositive (ad esempio, presenza di estesi tratti in galleria o sviluppo del tracciato su opere d'arte di rilievo, presenza di accentuate pendenze longitudinali o di flussi di traffico ingenti) o complesse modalità di inserimento nella rete stradale di appartenenza o, infine, complesse condizioni di interazione con altri sistemi infrastrutturali (linee ferroviarie lente o ad Alta Velocità, elettrodotti importanti o installazioni di importanza strategica) ha consentito di concepire, sviluppare e applicare un approccio sistemico alla gestione del rischio attraverso il quale può essere tracciato il profilo di rischio complessivo del sistema e possono essere individuate le procedure o gli interventi in grado di minimizzare le conseguenze di interruzioni più o meno prolungate del funzionamento complessivo del sistema.

Il processo messo a punto è rappresentato dal diagramma di flusso riportato in Figura 1.

Il processo inizia dall'analisi del sistema e degli elementi infrastrutturali, di segnaletica, di gestione del traffico ed impiantistici che lo compongono e procede sviluppando in parallelo l'analisi

del rischio e l'analisi della qualità del servizio offerto dal sistema in condizioni operative normali e durante lo sviluppo di situazioni d'emergenza, tenendo in debito conto le interazioni esistenti tra questi due temi.

L'analisi si sviluppa iterativamente fintanto che non sia verificato il rispetto di definite condizioni limite di accettabilità sia del livello di rischio sia del livello di servizio offerto dall'infrastruttura. Una volta verificato il rispetto delle condizioni di accettabilità imposte, si procede all'implementazione del sistema con le misure integrative di cui è stata riconosciuta l'utilità e l'efficacia nel corso del processo di analisi, potendo così procedere con la definizione del sistema di gestione e delle procedure di emergenza.

Operational Risk Analysis

La Operational Risk Analysis ha lo scopo di valutare il rischio del sistema infrastrutturale in condizioni di esercizio normali (Figura 1).

I principali step di questa fase di analisi consistono nella:

- ♦ definizione degli scenari di rischio da considerare (definizione degli hazard e identificazione degli hazard rilevanti);
- ♦ stima della frequenza di accadimento degli scenari di rischio (frequenza di accadimento dell'hazard e probabilità di incidente e di scenario dall'hazard considerato);
- ♦ valutazione delle conseguenze associate agli scenari di rischio (in termini di numero di vittime di ogni singolo evento).

Per un sistema stradale gli eventi di maggior interesse, che possono generare più comunemente condizioni critiche di esercizio ed eventuali vittime, sono gli eventi di guasto ai veicoli, gli incidenti, lo sversamento di merci pericolose, l'innescò d'incendio, particolarmente nel caso di sistemi con presenza significativa di tratte in galleria o esposti a condizioni climatiche e atmosferiche critiche. Gli eventi considerati si sommano, in una logica complessiva di Risk Management, agli eventi di guasto alle opere ed agli impianti di entità tale da poter indurre un possibile danno rilevante (prevalentemente sulle condizioni di esercizio dell'opera) caratterizzati però da probabilità di accadimento inferiori.

Per ognuno degli eventi pericolosi individuati, e degli scenari di rischio che questi possono generare in relazione alla loro localizzazione nel sistema in esame (per esempio in galleria, su viadotto, su rampa a singola corsia di marcia, ecc.), è necessario valutarne il rischio mediante stima della frequenza di accadimento e della gravità delle sue conseguenze.

La stima della frequenza di accadimento dovrebbe essere definita tenendo conto che ogni tracciato stradale, in relazione alle sue caratteristiche costruttive ed al traffico che lo percorre, ha una sua propria fisionomia nei riguardi del rischio per l'utenza che lo attraversa.

La probabilità di accadimento degli incidenti è cioè direttamente legata al volume di traffico che lo impegna, al suo sviluppo, alle caratteristiche del suo andamento planimetrico ed altimetrico, all'organizzazione della sua piattaforma stradale, alla presenza, frequenza ed organizzazione delle intersezioni, al regime di circolazione adottato, alla qualità della circolazione (esprimibile in termini di livello di servizio), alle dotazioni impiantistiche presenti (si pensi all'illuminazione della strada o alla presenza di sistemi di controllo e sanzionamento delle infrazioni ai limiti di velocità) e ai sistemi di gestione e di controllo del traffico e delle velocità di cui l'infrastruttura è dotata.



Le procedure possibili per definire la probabilità di accadimento degli incidenti che possono avvenire in una infrastruttura stradale sono di tre tipi:

- analisi dei dati storici di letteratura relativi all'incidentalità che caratterizza il tipo di strada in esame. L'analisi in questo caso consente di definire un quadro di pericolosità avente una valenza generale e non consente di valutare l'influenza che le specifiche caratteristiche dell'opera in esame hanno sull'incidentalità;
- analisi storica dell'incidentalità accaduta negli ultimi tre-cinque anni nell'infrastruttura in esame. In questo caso, l'analisi consente di tener conto dell'influenza che le specifiche caratteristiche della strada in esame hanno sulla sicurezza della circolazione e quindi sul numero di incidenti che in essa accadono;
- utilizzo di modelli previsionali di incidentalità. Questi modelli consentono di valutare la sicurezza di una infrastruttura in progetto o gli effetti sulla sicurezza di una modifica delle caratteristiche fisiche, funzionali o delle dotazioni impiantistiche di una infrastruttura esistente mettendo in relazione le caratteristiche progettuali dell'intervento con il numero di incidenti potenzialmente attesi.

In sistemi già in esercizio in cui siano disponibili dati storici di incidentalità si può adottare il criterio di cui al punto b), o meglio un approccio combinato delle procedure b) e c) secondo la tecnica di stima del tipo empirico bayesiano, capace di depurare il dato storico dalla presenza di possibili effetti distorsivi (quali, ad esempio, il fenomeno della regressione alla media).

Nel caso di opere in progetto, la stima può avvenire mediante modelli predittivi; in questo caso è importante la scelta di modelli in grado di rappresentare correttamente il sistema in esame, che consentano di tener conto dei diversi fattori che possono influenzare l'incidentalità e calibrati sulla realtà specifica analizzata. L'impostazione dell'analisi probabilistica mirata a valutare l'esposizione al rischio del sistema esaminato segue l'approccio che è stato codificato nell'Highway Safety Manual (HSM) pubblicato di recente negli USA [2] e può essere espresso mediante l'algoritmo generale riportato di seguito:

$$N_{pred,k} = N_{base,k} \cdot \left[\prod_j CMF_{k,j} \right] \cdot c_k \quad (1)$$

$$N_{pred} = \sum_k N_{pred,k} \quad (2)$$

Dove:

$N_{pred,k}$ = numero di incidenti predetto del tipo "k" nella tratta omogenea in esame nell'unità di tempo di riferimento (un anno);

$N_{base,k}$ = numero di incidenti del tipo "k" caratteristico dell'infrastruttura "base" nella tratta omogenea in esame nell'unità di tempo, commisurato alle caratteristiche di quest'ultima, valutato attraverso l'applicazione delle SPF;

$CMF_{k,j}$ = fattore di modificazione del tasso d'incidentalità dovuto alla specificità j presente caratterizzante la tratta omogenea in esame;

k = particolare tipo di incidente k-simo;

j = generica specificità di tracciato (geometrica, compositiva o funzionale) che rende l'infrastruttura in esame differente, dal punto di vista della sicurezza, dall'infrastruttura "base";

c = fattore di calibrazione.

Si parte dalla stima dell'incidentalità attesa in una infrastruttura di riferimento (definita "base") appartenente alla stessa classe funzionale alla quale appartiene l'infrastruttura in esame. Le caratteristiche di incidentalità dell'infrastruttura "base" sono fornite dalle cosiddette "Funzioni di prestazioni di Sicurezza" (Safety Performance Function - SPF) sviluppate, su basi regressive, correlando il numero di incidenti occorsi su infrastrutture del tipo di quella in esame, aventi caratteristiche geometriche, funzionali e compositive note. Le specificità dell'infrastruttura in esame, definite in termini di differenze tra le caratteristiche del caso reale in esame e quelle della strada "base", vengono poi tenute in conto attraverso l'applicazione di fattori correttivi, denominati "Fattori di modificazione dell'incidentalità" (Crash Modification Factor - CMF), il cui valore è maggiore o minore dell'unità a seconda che le specifiche caratteristiche in esame inducano rispettivamente un incremento o una riduzione di pericolosità, e quindi del numero di incidenti atteso. Il risultato ottenuto nel modo sopra descritto viene infine corretto, mediante l'applicazione di un fattore di calibrazione "c", per tener conto delle possibili differenze ambientali, di standard costruttivi, di caratteristiche del parco veicolare e di comportamento alla guida dell'utenza stradale che esistono tra la realtà presa in esame nello sviluppo delle SPF e dei CMF e la realtà specifica in esame.

Per il campo d'applicazione autostradale è possibile far riferimento al modello previsionale di incidentalità presentato nel supplemento 2014 dell'Highway Safety Manual (HSM) e specifico per il calcolo previsionale dell'incidentalità lungo tratte autostradali [3].

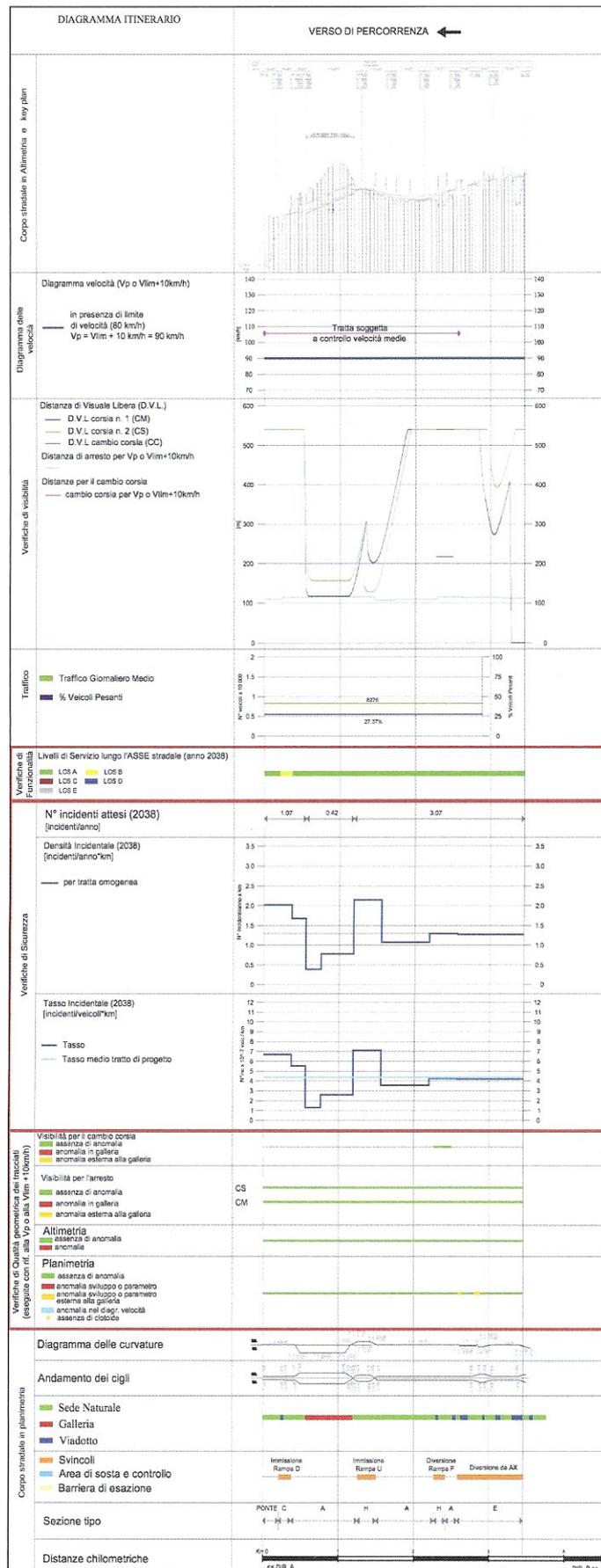
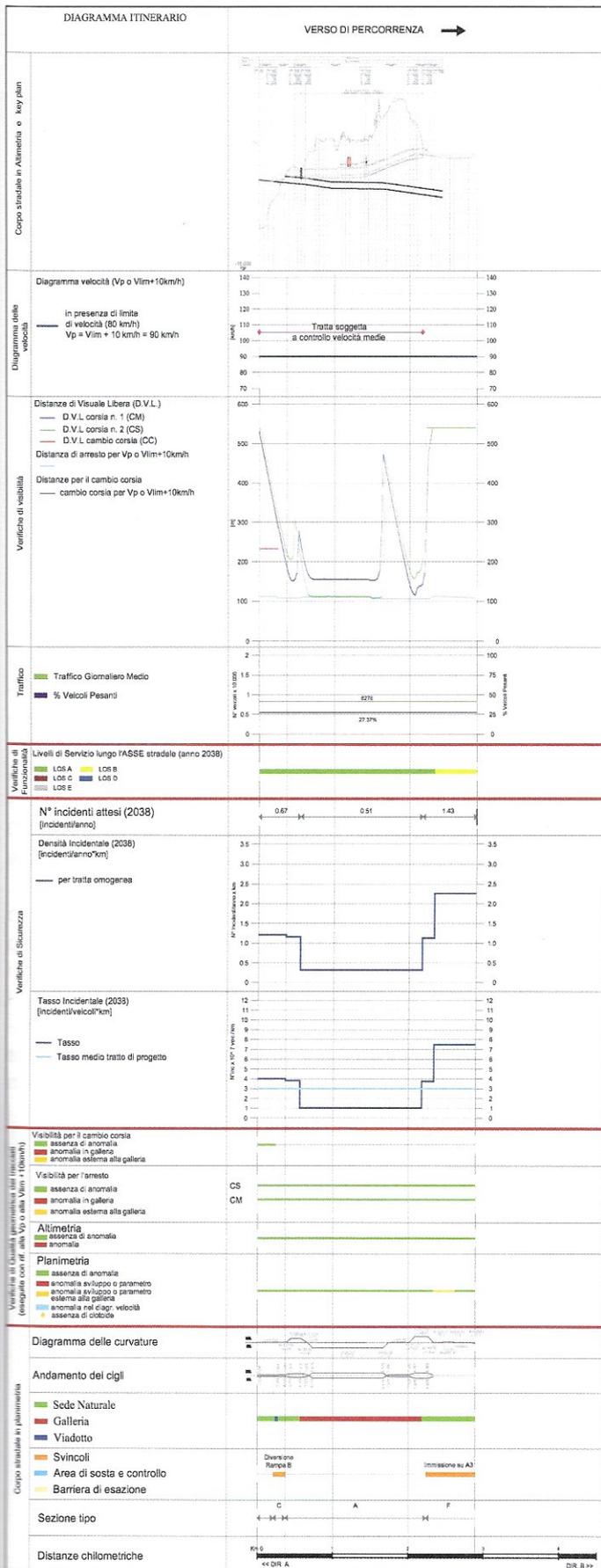
La calibrazione del modello per la sua applicazione alla rete autostradale italiana è stata sviluppata su una rete autostradale di sviluppo complessivo di 6.700 km selezionando 56 sezioni di lunghezza media di circa 12,5 km per complessivi 700 km [4].

L'analisi può essere sviluppata utilizzando anche differenti SPF capaci di rappresentare adeguatamente situazioni particolari del tracciato, quali le tratte in sotterraneo, per cui è proponibile l'uso del modello di incidentalità in galleria sviluppato dall'UPI svizzero nel 2004 [5] e recentemente calibrato rispetto alla realtà delle gallerie autostradali italiane [6].

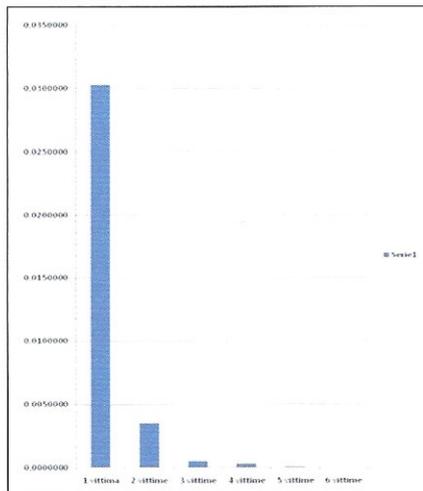
Per favorire un'efficace interpretazione dei dati stimati in relazione alle caratteristiche geometriche e funzionali dell'infrastruttura analizzata è utile una rappresentazione in forma di diagramma itinerario (Figure 2A e 2B): questo tipo di diagramma dispone in parallelo la rappresentazione grafica dei dati stimati di incidentalità (esprimibili in forma di tasso di incidenti e densità di incidenti) e delle caratteristiche geometriche e funzionali del tracciato, consentendo un'analisi incrociata dei dati attraverso la quale relazionare le eventuali criticità messe in evidenza dall'analisi previsionale di incidentalità alle caratteristiche dell'opera e alle condizioni di funzionamento della stessa.

Il procedimento sviluppa in sostanza, in modo interattivo, integrandolo con valutazioni quantitative, l'analisi di sicurezza a livello di progetto (Safety Audit) che il D.Lgs. 15/03/2011 n° 35 ha reso cogente per le infrastrutture appartenenti alla rete TERN (Trans-European Road Network).

La stima delle conseguenze degli incidenti di cui è stata valutata la frequenza di accadimento può avvenire sulla base di evidenze statistiche da casi simili oppure mediante l'applicazione di appo-



2A e 2B. La rappresentazione delle caratteristiche funzionali e di sicurezza di singoli componenti del sistema su diagramma itinerario



Numero di vittime	NUMERO EVENTI MORTALI						Totale eventi mortali	Totale vittime
	1	2	3	4	5	6		
Anno								
2005	199	25	2	3	1	0	230	272
2006	196	37	6	2	0	0	241	296
2007	176	13	4	3	1	1	198	237
2008	157	15	3	1	0	0	176	200
2009	138	10	0	0	0	0	148	158
2005-2009	866	100	15	9	2	1	993	1'163
Incidenza % sul totale eventi mortali	87.2%	10.1%	1.5%	0.9%	0.2%	0.1%		

3A e 3B. Il probabile numero di vittime registrato sulla rete autostradale italiana

siti algoritmi di calcolo, come comunemente avviene nel calcolo del rischio delle tratte in galleria. In questo caso sarebbe opportuno tenere conto dell'influenza che possono avere le prestazioni di esercizio dell'infrastruttura in condizioni di emergenza sulle conseguenze dell'evento, in considerazione che da queste dipende il tempo di intervento dei soccorsi e l'eventualità del possibile sviluppo di eventi secondari.

Un esempio di statistica sulla gravità d'incidenti stradali è riportata nelle Figure 3A e 3B, con riferimento all'incidentalità sulla rete autostradale italiana nel periodo 2005-2009. Questa consente di definire la probabilità che un incidente assuma diversi livelli di gravità (numero di vittime) così da stimare il numero di vittime atteso per il periodo di analisi. Dalla statistica delle Figure 3A e 3B, in particolare risulta che l'incidentalità più grave (con vittime) in ambito autostradale genera nel maggior numero di casi una sola vittima (87% dei casi) e con minor probabilità due vittime (10% dei casi): la probabilità di avere oltre due vittime (fino a sei vittime) risulta marginale (2,7%).

Risk Evaluation

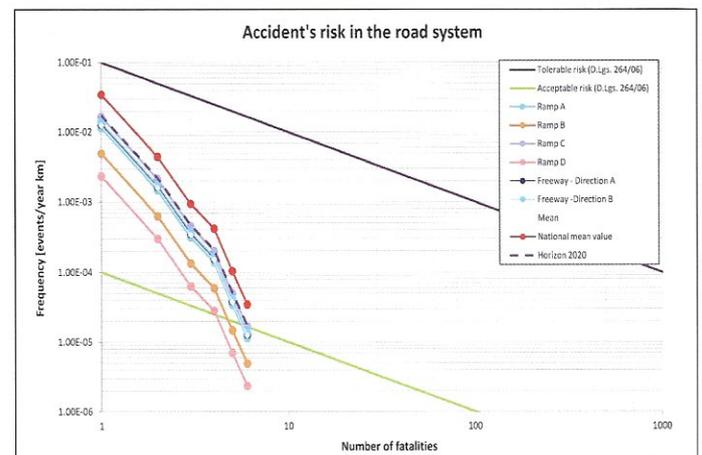
Per valutare se il rischio derivante dalle conseguenze degli eventi critici possa essere considerato ammissibile è necessario definire un criterio di accettazione del rischio. Attualmente non è stato ancora definito un criterio di accettabilità del rischio per le infrastrutture stradali nella loro globalità, diffusamente condiviso dagli operatori del settore. La definizione di un tale criterio rientra nelle prerogative degli Organismi politici competenti di ciascun Paese, sulla base di considerazioni di natura sociale ed economica, tenuto conto del livello di percezione ed accettazione sociale del rischio. A livello internazionale sono disponibili riferimenti tecnico-normativi che possono guidare nella definizione del criterio di ammissibilità [7, 8 e 9].

In Italia, l'unico riferimento normativo disponibile al riguardo è costituito dal D.Lgs. 5/10/2006 n° 264 per le gallerie stradali, che ha scelto, quale criterio, il livello del rischio sociale che l'opera presenta, rappresentandolo sul piano FN (Frequenza - Numero di vittime attese all'anno), adottando il criterio ALARP (il rischio, se pur inferiore alla soglia di tollerabilità considerata, deve essere "As Low As Reasonably Possible" fintanto che sia superiore ad una soglia inferiore di rischio accettabile).

Un criterio per definire l'ammissibilità del rischio per una infrastruttura stradale nel suo complesso potrebbe essere quello di estendere, per assimilazione, il criterio adottato per le gallerie stradali, modificandolo per tener conto del fatto che, anziché di una opera isolata (la galleria, caratterizzata da uno sviluppo finito, variabile in un range di valori relativamente contenuto), si tratta di applicare il criterio a sistemi stradali di sviluppo anche molto rilevante. Tale approccio concettuale riprende quanto già proposto dalla Commissione austriaca per la sicurezza dei tunnel [10].

Estendere il criterio di ammissibilità del rischio (livello di tollerabilità e livello di accettabilità) adottato per le gallerie anche alle strade nel loro complesso vorrebbe dire assumere anche per le strade il livello di percezione ed accettazione sociale del rischio considerato per le gallerie che, come ben noto, ha assunto connotati di grande sensibilità a seguito degli eventi critici del Monte Bianco, del Gottardo e del Tauern nel periodo 1999-2000. Questa scelta, d'altra parte, sarebbe in linea con i più recenti indirizzi della Commissione Europea in materia di sicurezza stradale che impongono obiettivi ambiziosi a medio (riduzione del 50% al 2020 del numero che si è avuto in Europa nel 2011) e a lungo termine (azzeramento nel 2050 delle vittime prodotte dalla strada).

Alla luce di quanto sopra detto, il criterio di accettabilità del rischio proponibile per le infrastrutture stradali potrebbe essere quello rappresentato in Figura 4, in cui si sono considerati in ordinata i valori di frequenza per chilometro di sviluppo di strada anziché i valori di frequenza (assoluta). Con questo criterio, la soglia di "rischio tollerabile" interseca l'asse delle ordinate (cui corrisponde la frequenza massima tollerabile di avere ≥ 1 vittima/anno per km di tracciato) a $1 \cdot 10^{-1}$ eventi/anno.

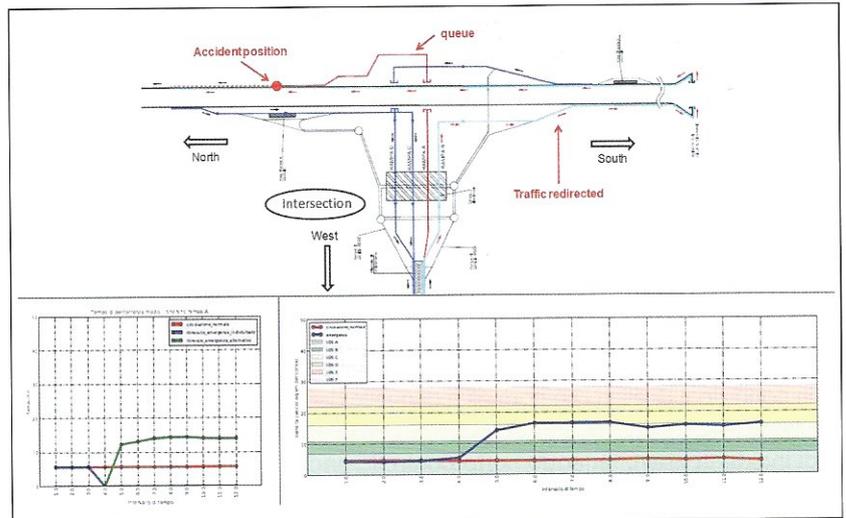


4. La rappresentazione del rischio su piano FN



Ad analogia con il caso delle gallerie stradali, la linea di soglia ha pendenza $\alpha = -1$; questo criterio, comunemente definito di “assenza di avversione al rischio”, si ritiene comunque applicabile in considerazione del fatto che l’incidentalità stradale è comunemente caratterizzata da un modesto numero di vittime (una o due vittime, Figura 3) e pertanto ricade in una zona del piano FN prossima all’asse delle ordinate, scarsamente influenzata dall’angolo di inclinazione della soglia di tollerabilità del rischio.

Il criterio proposto consente di confrontare il rischio di singole tratte stradali di differenti sviluppi, individuare le componenti del sistema che manifestano la maggiore esposizione al rischio ed eventualmente confrontare il rischio di quest’ultimo con quello di altre tratte stradali esistenti. Il profilo di rischio delle singole componenti del sistema rappresentato, a titolo di esempio, sul diagramma di Figura 4 illustra chiaramente quanto sopra detto, e consente di individuare gli elementi del sistema sui quali è opportuno intervenire prioritariamente per ricondurre il sistema a una configurazione del rischio omogeneamente distribuito.



5. Esempio di analisi di uno scenario di emergenza

Emergency Analysis

L'accadimento di un evento di guasto o di un incidente provoca un'alterazione delle normali condizioni di esercizio del sistema infrastrutturale in esame. Ogni scenario di emergenza deve essere sottoposto a un'analisi funzionale volta a quantificare l'evoluzione nel tempo di predefiniti parametri caratteristici della qualità della circolazione nel sistema per lo specifico scenario (v. tempo di viaggio, LOS, ecc.). Il successivo confronto delle condizioni di circolazione in emergenza rispetto a quelle proprie dell'esercizio ordinario consente di definire la perdita di qualità dell'esercizio attesa in relazione ad ogni scenario di emergenza di cui è nota la frequenza di accadimento (Figura 5).

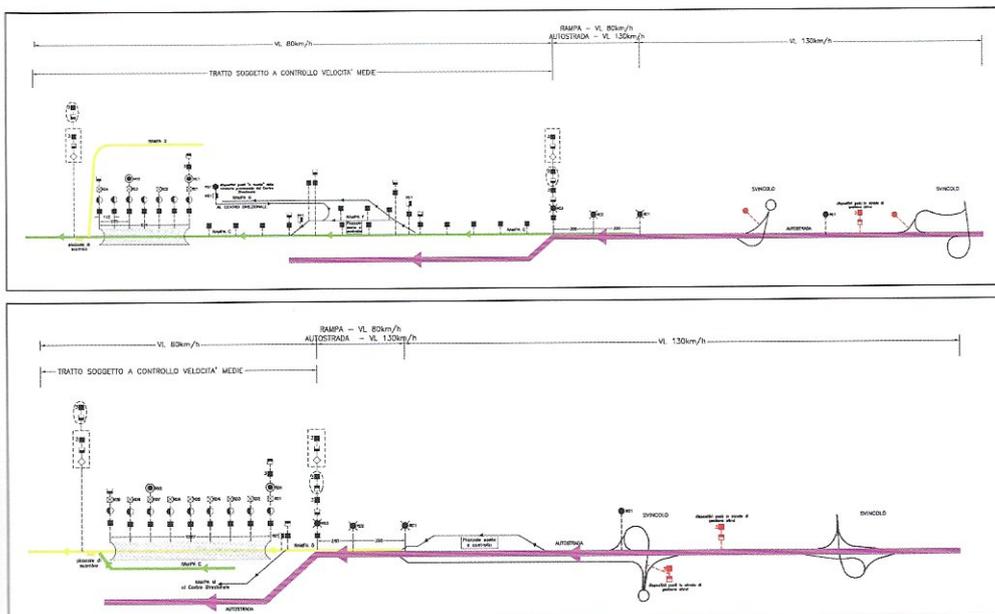
Il confronto dei risultati di questa analisi con gli standard di qualità del servizio adottati dal gestore, eventualmente da definire, consente di giudicare l'ammissibilità o meno del rischio di esercizio degradato del sistema.

Questa analisi consente inoltre di valutare:

- ◆ le modalità e i tempi di intervento degli operatori di soccorso sul luogo dell'evento;
- ◆ la probabilità di generare condizioni foriere di eventi pericolosi secondari quali, ad esempio, il rigurgito di coda all'interno di tratte in galleria o in aree d'intersezione.

Di queste informazioni si deve tenere conto nella procedura di Operational Risk Analysis di cui si è detto.

L'adozione di questa procedura in forma iterativa consente di individuare gli interventi necessari, o comunque opportuni per l'ottimizzazione del sistema di gestione del traffico in emergenza (Figure 6A e 6B).



6A e 6B. Il layout schematico del “traffic management system”

LEGENDA

- PORTALI A MESSAGGIO VARIABILE (PMV)
- PORTALI SEGNALETICA VERTICALE SPECIALE DI INDICAZIONE (SVSI)
- PORTALI A MESSAGGIO VARIABILE BIFACCIALI (PMV)
- 2 □ SEGNALE A MESSAGGIO VARIABILE D'INDICAZIONE DEI LIMITI DI VELOCITÀ
- PORTALI A MESSAGGIO VARIABILE IN GALLERIA
- SOS
- TELECAMERA (TVCC) DOM
- 3 ■ TELECAMERA PER IDENTIFICAZIONE VEICOLI
- TELECAMERA (TVCC)
- BARRIERA AUTOMATICA DI CHIUSURA AUTOSTRADA O RAMPE
- DISPOSITIVI CONTA TRAFFICO
- ◇ PESA VEICOLI IN MOVIMENTO (WEIGHT IN MOTION - WIM)
- ⊗ SEMAFORI DI DISPONIBILITÀ CORSA (⊗ ⊙ ⊙)
- ⊗ SEMAFORI DI DISPONIBILITÀ CORSA (⊗ ⊙ ⊙) BIFACCIALI
- ⊗ SISTEMA TCP (Targa + Classe + Paso)
- TUTOR²⁰

NOTA:

(1) Il Sistema TCP per la classificazione dei veicoli mediante Targa, Classe e Paso è realizzato attraverso l'insieme integrato di 3 sistemi:

(2) Il Sistema TUTOR per il controllo della velocità è realizzato attraverso l'insieme integrato di 2 sistemi:



Il risultato di questa procedura è quello di restituire la configurazione dell'infrastruttura e degli impianti per la gestione del traffico capace di garantire condizioni accettabili di esercizio sia dal punto di vista del rischio sia della qualità del servizio.

Una volta definita la configurazione del sistema adeguata a garantire sia le esigenze di sicurezza sia le esigenze funzionali d'esercizio è possibile procedere con la definizione delle sue modalità di gestione.

Emergency Management

Per poter gestire il sistema tenendo conto delle sue prestazioni in condizioni di esercizio normali e di quelle degradate in presenza di eventi critici meteorologici o di guasti all'infrastruttura o di incidenti gravi, tenendo sotto controllo anche l'equilibrio dei parametri ambientali rilevanti che possono avere influenza sulla generazione degli eventi e potrebbero a loro volta subire alterazioni a seguito dei suddetti eventi critici, occorre predisporre un sistema informatizzato in grado di considerare tutte le diverse interazioni possibili tra i diversi elementi in gioco.

È anche dalla impostazione e dal corretto funzionamento del sistema di monitoraggio e controllo di tutte le grandezze in campo che dipende, infatti, la caratteristica di "resilienza ¹⁾" che la Roadmap messa a punto dalla Task Force della Piattaforma Tecnologica Europea (European Technology Platform - ETP) assume debbano avere le infrastrutture del futuro.

La definizione dell'architettura del sistema di gestione deve tenere conto di tutto l'insieme dei dati di esercizio che possono essere acquisiti dai rilevatori in campo (per esempio, numero di veicoli in transito nelle diverse sezioni del sistema, tipologia di veicoli, velocità di transito, ecc.) e delle relative elaborazioni per giungere ai parametri di esercizio utili per la gestione del sistema, nonché delle esigenze di fruizione di dati disponibili da parte degli operatori e dei diversi utenti. Si deve inoltre tenere conto dei sistemi di controllo del traffico e di comunicazione disponibili e delle loro modalità di attivazione.

I sistemi di infomobilità che consentono un siffatto sistema di gestione possono essere:

- ◆ sistemi con gestione centralizzata dei dati;
- ◆ sistemi con gestione distribuita dei dati.

Il processo di gestione dei dati per i due diversi sistemi di gestione richiamati si divide nelle tre macrofasi principali illustrate in Figura 7.

L'architettura con gestione centralizzata dei dati è l'architettura classica di un sistema di infomobilità, e vede tipicamente l'impiego di sensori dedicati per la raccolta dati (per esempio, sistemi di gestione della velocità dei veicoli in transito, installati sul territorio da monitorare), una rete di telecomunicazioni disponibile per il trasferimento delle informazioni verso il centro remoto di controllo (per esempio fibra ottica o link wireless long range - GSM, UMTS, Wimax, LTE) e un Data-Base management system (DBMS), un Server Web e delle Web applications per la pubblicazione e fruizione delle informazioni tramite servizi dedicati per le diverse tipologie di utenti finali (end-user).



7. Il processo dei dati in differenti sistemi di infomobilità

Questo tipo di architettura non si presta molto bene laddove il territorio non sia già predisposto con infrastrutture di infomobilità per la raccolta e la trasmissione dei dati e gli end-user siano utenti in mobilità che devono usufruire dei servizi in tempo reale mentre si muovono sul territorio.

L'architettura con gestione distribuita delle informazioni costituisce una nuova tipologia di architettura per la rete, di tipo SOA (Service Oriented Architecture), che permette agli oggetti fisici di pubblicare servizi accessibili ai clients mobili e di interconnettere uomini con uomini, uomini con macchine e macchine con macchine.

Nel caso sia comunque necessaria la presenza di un DBMS per l'archiviazione ed elaborazione di dati "offline" è possibile prevederlo come nodo fisso della rete.

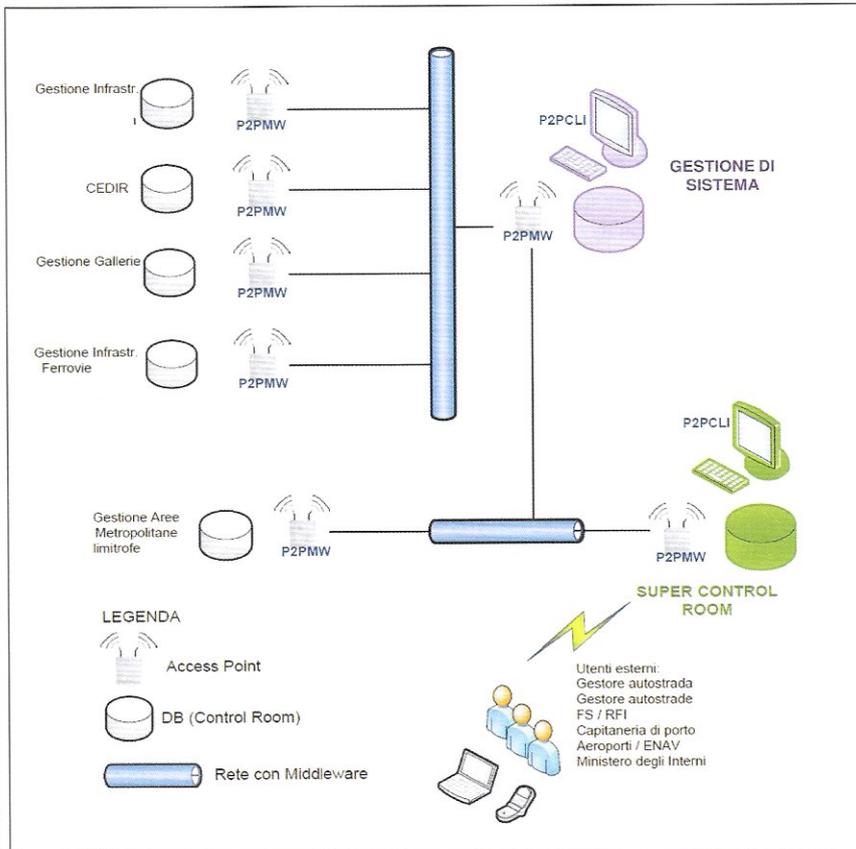
In sistemi complessi, tuttavia, possono crearsi condizioni tali che nessuno dei sistemi descritti possa assolvere in modo ottimale alle necessità di gestione.

Possono infatti presentarsi (in tutto o in parte) le seguenti circostanze:

- ◆ presenza di un'opera o una rete principale, dotata di propri sistemi di monitoraggio (traffico, meteo, sicurezza strutturale, sicurezza di esercizio, ecc.) e di gestione del traffico, con necessità di elaborazione dei dati e gestione centralizzata in una sala di controllo centrale;
- ◆ presenza di opere di collegamento ad altre reti, anch'esse dotate di propri sistemi di monitoraggio e controllo del traffico, da gestire in modo coordinato con la gestione dell'opera o rete principale;
- ◆ presenza all'interno della rete di opere particolari (v. gallerie) dotate di specifici impianti e criteri di controllo e di gestione;
- ◆ presenza di infrastrutture od opere accessorie alla rete principale, ed interferenti con questa, quali aree di parcheggio e di servizio;
- ◆ necessità di coordinare e gestire l'azione di operatori di manutenzione e di soccorso a servizio dell'opera;
- ◆ presenza di altre infrastrutture, interne o esterne al sistema (per esempio altri modi di trasporto) gestite da operatori differenti, ed interferenti sulla funzionalità e sicurezza del sistema principale;
- ◆ aree metropolitane esterne al sistema, e la relativa viabilità secondaria, le cui dinamiche di traffico influenzano il funzionamento del sistema.

In queste circostanze è possibile concepire un sistema misto di gestione, dotato di una rete "middleware" di comunicazione che permetta la raccolta e l'integrazione di informazioni eterogenee, relative a DBMS diversi e gestite da attori differenti, e una struttura di gestione gerarchicamente superiore a tutti i sistemi di gestione distribuiti, definibile come

1) - Infrastrutture "resilienti": infrastrutture che garantiscono il mantenimento delle loro capacità di servizio nelle più estreme condizioni climatiche ed in presenza di criticità naturali.



8. Lo schema generale di un "sistema misto" di infomobilità

"Super control room", a cui confluiscono le informazioni provenienti da tutti i sottosistemi sopra delineati, gestiti da Enti diversi tra loro (Figura 8).

Con questa struttura, gli utenti in mobilità possono accedere ai servizi forniti dalle singole control room mediante specifici software applicativi per dispositivi specifici, per esempio palmari o laptop scaricabili e installabili direttamente dalle control room in funzione delle specifiche credenziali d'accesso, secondo un approccio di gestione distribuita di dati.

La Super Control Room (concepita secondo un criterio di gestione centralizzata dei dati) ha l'obiettivo di recepire in ingresso i dati raccolti sul campo dalla sensoristica posta sul territorio per il monitoraggio del traffico, della sicurezza ecc., e memorizzati nei DB dei gestori preposti al controllo delle diverse reti interagenti, e sulla base di questi effettuare delle aggregazioni ed elaborazioni sulle quali costruire i servizi verso gli utenti finali. Questa Super Control Room si configura come un sistema di supporto alle decisioni avanzato, grazie alla visibilità complessiva che ha del territorio, integrando le informazioni parziali dei sottosistemi.

L'accesso alla Super Control Room, oltre al Gestore addetto, può ovviamente essere reso disponibile anche a tutti gli Enti esterni per via diretta, ad esempio con l'uso delle apposite applicazioni software se utenti in mobilità o tramite postazioni Client dedicate, oppure per via indiretta, avendo feedback indietro verso le control room gerarchicamente inferiori. Questi servizi servono ad esempio per informarli delle condizioni di funzionamento del sistema (per esempio emergenze) o degli eventi esterni al sistema

che possono comunque influenzare il funzionamento del sistema stesso.

Alcuni end-user, quindi, non sono solo fruitori di dati e servizi ma anche fornitori, in quanto da una parte hanno a disposizione una infrastruttura di sensori che permette di raccogliere i dati sul campo e memorizzarli nei DB delle proprie control room ad accesso diretto, e dall'altra, mettono a disposizione tali dati verso un sistema gerarchicamente superiore che integra e aggrega i dati di diversi sottosistemi, ed hanno indietro dei servizi possibili solo grazie proprio a questa successiva elaborazione.

Data la necessità di archiviare ed elaborare contributi informativi di natura fortemente eterogenea provenienti dal campo è necessario predisporre un DB dotato di uno strato informativo geografico di base che funge da collante tra i dati che provengono da ogni singolo servizio: l'integrazione delle informazioni è permessa dagli strati informativi GIS relativi all'infrastruttura. Ogni elemento fisico dell'infrastruttura viene descritto nella sua geometria e georeferenziato. Gli elementi puntuali, come ad esempio i sensori, oltre alla propria posizione geografica reccheranno l'informazione della sezione stradale di appartenenza per ovviare a eventuali ambiguità di attribuzione.

* Professore del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze

** Ingegnere Libero Professionista

BIBLIOGRAFIA

- [1]. PIARC TC C.3, 2012, PIARC - Technical Committee C.3 Managing operational risk in national and international road operations, "Managing risk in road organization", ISBN: 978-2-84060-265-2, 2012.
- [2]. AASHTO - "Highway Safety Manual", 2010.
- [3]. AASHTO - "HSM Supplement 1st Edition, chapter 18, September 2014", 2014.
- [4]. L. Domenichini, F. La Torre, F. Corsi, F. Fanfani - "Transferability of the Highway Safety Manual Freeway Model to the Italian Motorway Network", TRR, 2014.
- [5]. U. Salvisberg, R. Allenbach, M. Hubacher, M. Cavegn, S. Siegrist - "Verkehrssicherheit in Autobahn und Autostrassentunneln des Nationalstrassennetzes", Report n° 51, Swiss office for accident prevention, UPI, Bern, 2004.
- [6]. L. Domenichini, F. La Torre, F. Caputo, F. Fanfani - "Il modello previsionale di incidentalità in gallerie autostradali", Rivista "Strade & Autostrade", n° 91 Gennaio-Febbraio 2012.
- [7]. PIARC Technical Committee C.2 Safer Road Operations - "Social acceptance of risk and their perception", ISBN: 978-2-84060-298-9, 2013.
- [8]. Det Norske Veritas, Final Report - "Risk Acceptance Criteria for Technical Systems and Operational Procedures", Report for European Railway Agency, Report No: 24127328/03, Rev. 02, 2010.
- [9]. NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways (2014).
- [10]. H. Knoflachner, P.C. Pfaffenbichler - "A Comparative Risk Analysis for Selected Austrian Tunnels", International Conference "Tunnel Safety and Ventilation", Graz, 2004.