

LE ANALISI DI SICUREZZA NELLA OTTIMIZZAZIONE DELLE RETI STRADALI IN AREE EXTRAURBANE E SUB-URBANE

Praticò F. G.

*Associate Professor - Università Mediterranea di Reggio Calabria
filippo.pratico@unirc.it*

Giunta M.

*Researcher - Università Mediterranea di Reggio Calabria –
marinella.giunta@unirc.it*

SOMMARIO

La riorganizzazione funzionale delle reti stradali a supporto di una più sostenibile ed efficace mobilità urbana e sub-urbana non può prescindere dall'attenta valutazione delle condizioni di sicurezza. La minimizzazione delle condizioni di rischio per gli utenti stradali, unitamente alla capacità ed al livello di servizio, costituisce un elemento qualificante della efficienza trasportistica di una rete stradale ed un obiettivo prioritario nella gestione delle infrastrutture di trasporto. La misura della sicurezza, tuttavia, è sovente un esercizio non agevole a causa della indisponibilità, lacunosità e/o poca affidabilità dei dati richiesti. Per superare tali difficoltà risulta efficace un approccio al problema che sviluppi sinergicamente più metodologie quali le analisi preventive di sicurezza stradale (safety audit review), lo studio dell'incidentalità pregressa e l'applicazione/calibrazione di modelli predittivi di incidentalità, in modo da identificare le effettive criticità nei riguardi della sicurezza e le strategie di intervento e gestionali in grado di eliminare e/o mitigare tali criticità. Il presente lavoro propone un percorso metodologico di valutazione delle condizioni di sicurezza di una rete stradale con diretta applicazione ad una vasta rete stradale ricadente in provincia di Reggio Calabria.

ABSTRACT

The functional rehabilitation of road networks for an efficient and sustainable mobility in rural and sub-urban areas requires a careful evaluation of the safety conditions of road infrastructures. Safety assessment is not a simple task because of input data reliability. In order to pursue the above-mentioned objectives, a comprehensive methodology can be needed: safety audit reviews, accident analyses and application/calibration of accident prediction models. In this way the main safety problems and the related strategies can be identified. Authors propose a useful approach for the evaluation of safety performance of a road network. Methodology has been validated through an application carried out in a wide road network in Reggio Calabria Province.

KEYWORDS: rural/suburban network, safety, accident prediction.

1. LE RETI STRADALI SUBURBANE ED EXTRAURBANE E LE STATISTICHE DI RIFERIMENTO

La riorganizzazione funzionale delle reti stradali a supporto di una più sostenibile ed efficace mobilità sub-urbana ed extraurbana non può prescindere dall'attenta valutazione delle condizioni di sicurezza. La minimizzazione delle condizioni di rischio per gli utenti stradali, unitamente alla capacità ed al livello di servizio, costituisce un elemento qualificante dell'efficienza trasportistica di una rete stradale ed un obiettivo prioritario nella gestione delle infrastrutture di trasporto.

Tra le caratteristiche che contribuiscono a caratterizzare la specificità delle reti stradali che si sviluppano in ambiente extra/suburbano possono annoverarsi le seguenti: elevata incidentalità relativa, ridotta abitudine ad indossare le cinture, velocità più elevate che in ambito urbano, tendenziale ricorrenza della guida in stato di ebbrezza e oggettive difficoltà nel trasporto di emergenza.

In ambito extraurbano, a fronte di un carico di traffico sovente non particolarmente rilevante, frutto di concentrazioni abitative ridotte, le statistiche di incidentalità appaiono spesso denunciare situazioni tendenzialmente preoccupanti. Se ci si riferisce a statistiche statunitensi, per esempio, il numero di incidenti per 100 milioni di veicoli-Km è pari, in ambito extraurbano o sub-urbano, a circa il doppio di quelli in ambito urbano. Un ulteriore esempio è il seguente (cfr. Tabella 1), riferito alla rete provinciale di Reggio Calabria, nella quale il numero di incidenti a Km è piuttosto esiguo (0.1-0.3 incidenti al Km), a fronte, però, di flussi veicolari giornalieri molto ridotti (sovente intorno a 2000-8000 veicoli al giorno).

Tabella 1 - Statistiche di incidentalità per alcune delle strade provinciali reggine

	TGM	Numero di incidenti in un anno	Densità incidentale [inc./Km per anno]	Feriti e morti all'anno	Feriti e morti per 10 ⁶ veic-Km
SP1 (1)	7700	1,66	0,095	6,830	0,39
SP1 (2)	1200	0,33	0,040	0,167	0,02
SP4	5300	0,33	0,052	1,000	1,56
SP21	2200	1,33	0,210	0,333	0,62
SP22	2500	0,67	0,070	0,167	0,55
SP52	4000	1,33	0,049	1,167	1,20
SP72	3600	3,00	0,289	2,500	1,28

La situazione, in altri termini, è quella di una non elevata esposizione al rischio che non conduce, tuttavia, ad una conseguente ridotta incidentalità. Per esempio (Tabella 2), per la tratta della SP1, sita in area Gioia Tauro-Locri, qui denominata SP1(2), si ottiene all'attualità un valore stimato pari a circa 9 incidenti per 100 milioni di veicoli-Km.

Tabella 2 – Indicatori relativi di incidentalità per una tratta della SP1 reggina

TGM	i/km	veic/anno	100MV/anno	i/100MVK m
1200	0,04	438000	0,00438	9,1

Un altro fattore che contribuisce a rendere peculiare l'ambiente extra/suburbano è una probabile riduzione dell'impiego di cinture di sicurezza. A tale criticità si aggiunge una tendenziale ricorrenza di incidenti con conducenti in stato di ebbrezza e non può qui essere poi sottaciuto che sovente l'intervento medico è limitato, nel perseguimento dei propri obiettivi, dalla consistente lontananza da/per il più vicino ospedale/pronto soccorso. Per ciò che, poi, in particolare, riguarda la situazione delle arterie provinciali reggine in materia di incidentalità, rispetto allo scenario infrastrutturale italiano, è possibile fornire il seguente quadro di riferimento di massima (Tabella 3):

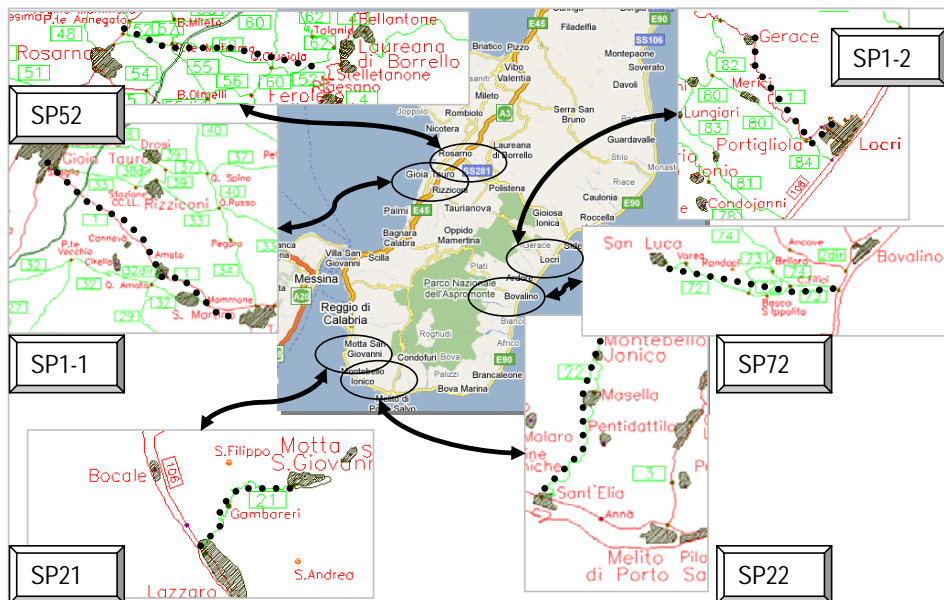
Tabella 3 – Quadro di riferimento

	PROV RC (medie su sub -insieme)	Provinciali italiane	Statali e autostrade italiane	Comunali extraurbane italiane	Comunali urbane italiane
i/km	0,200	0,113	0,400	0,040	
morti/km	0,030	0,014	0,057	0,003	
feriti/inc	2,000	1,543	1,667	1,372	1,277
morti/inc	0,600	0,121	0,117	0,083	0,029

Le statistiche rivelano una densità di incidente (i/km) in alcune strade provinciali reggine superiore sia a quella delle strade provinciali che a quella delle comunali extraurbane italiane, mentre è pari a circa la metà rispetto alle strade statali ed alle autostrade, sempre in ambito nazionale. La stessa tendenza si riscontra sugli altri parametri di incidentalità, ossia sui morti per chilometro e sul numero di feriti e sul numero di morti rapportati al numero di incidenti. Seppur a livello di statistiche generali, si deduce la sussistenza di un livello di rischio in alcune strade della rete extraurbana della provincia di Reggio Calabria superiore alla media nazionale, della stessa categoria stradale (strade provinciali e comunali extraurbane).

Il quadro appena tracciato rende meritevole di approfondimento la valutazione delle condizioni di sicurezza della rete stradale provinciale reggina, in considerazione, tra l'altro, dell'importante funzione di accessibilità e di penetrazione alle aree interne e ad importanti poli urbani che ad essa è demandata. Tra l'altro, le infrastrutture considerate, ancorché caratterizzate da flussi veicolari non particolarmente elevati, per via delle scarse densità abitative dei contesti attraversati, costituiscono la nervatura "radiale" portante del sistema di trasporto su gomma, che in questa area calabrese ha un ruolo predominante e quasi esclusivo nel campo della mobilità di persone e merci (Figura 1).

Figura 1 – Localizzazione delle strade provinciali oggetto di indagine



2. CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI SICUREZZA DELLE RETI EXTRAURBANE E SUBURBANE

Le metodologie ed i criteri da seguire nella valutazione delle prestazioni di sicurezza di una rete stradale suburbana o extraurbana dipendono essenzialmente da due fattori correlati tra di loro: la finalità per cui si esegue la valutazione e la disponibilità di dati sulle caratteristiche geometriche, funzionali, strutturali e di incidentalità.

In relazione a tali aspetti, è possibile fare ricorso ad una moltitudine di metodi di valutazione delle condizioni di sicurezza di una rete stradale: dalle analisi di incidentalità, anche basate sulla applicazione di strumenti di intelligenza artificiale (reti neurali, logica fuzzy), agli studi before and after, dalle verifiche degli standard geometrici e funzionali allo studio del design consistency.

L'applicazione singola di ciascuno di questi metodi fornisce, spesso, una valutazione solo parziale delle condizioni di sicurezza, non riuscendo ad esplicitare completamente i rapporti eziologici tra i diversi fattori riferiti alla strada e all'incidentalità.

Più in generale, l'approccio all'analisi delle condizioni di sicurezza di una rete stradale extraurbana e suburbana può avere più finalità:

- i) una finalità di tipo "diagnostico" (condizioni di incidentalità note): si determinano la tipologia e l'ubicazione dei difetti dell'infrastruttura sulla base dell'analisi degli incidenti verificatisi;
- ii) una finalità di tipo "preventivo": si individuano e si correggono le situazioni che sulla base di esperienze pregresse o di oggettive condizioni infrastrutturali presentano elevate probabilità di essere causa o concausa di incidente;

iii) una ulteriore finalità, correlata alle precedenti, è quella di verificare l'efficacia delle azioni che si intendono porre in atto per migliorare le condizioni di sicurezza: in tale senso risulta utile il ricorso a modelli predittivi di incidentalità che correlando il numero di incidenti alle caratteristiche geometriche e funzionali delle infrastrutture, riescono a fornire le prestazioni di sicurezza per diversi scenari di caratteristiche infrastrutturali e funzionali della rete.

L'approccio di tipo diagnostico richiede la disponibilità di una banca dati di incidentalità accurata e completa. A partire da una descrizione completa del dato relativo all'incidente sotto il profilo della localizzazione, della tipologia e dinamica dell'evento, delle condizioni ambientali e delle conseguenze (danni materiali, morti e feriti), è possibile risalire, a seguito della individuazione dell'incidente critico (ossia quello che si ripete con maggiore frequenza), ai difetti infrastrutturali possibili.

Le analisi di tipo preventivo, hanno in Italia un corpo normativo che ne regola la loro esecuzione (Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3699/2001, recante le "Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade"). Il documento introduce anche in Italia la procedura di Road Safety Audit (applicata all'analisi di progetti stradali) e di Road Safety Audit Review (applicata alle strade esistenti), consistente in un esame formale e sistematico, che, basandosi sul giudizio di esperti, permette di identificare le situazioni di potenziale criticità per la sicurezza e di individuare le relative contromisure. L'applicazione di tale procedura consente di permeare il processo di pianificazione, progettazione e gestione delle infrastrutture stradali dei principi su cui si basa la sicurezza stradale, allo scopo di prevenire gli incidenti o di ridurre la gravità.

Un differente approccio, che può essere utilmente applicato nell'adeguamento delle reti stradali, inteso anche come miglioramento delle condizioni di sicurezza, è quello che fa uso di modelli predittivi di incidentalità. Tali modelli, correlando il numero di incidenti a parametri geometrici e funzionali delle strade, consentono di effettuare una gerarchia di pericolosità tra i diversi rami della rete e di stimare in termini numerici i benefici, intesi come riduzione del numero e della gravità degli incidenti, che i differenti interventi possibili (infrastruttura o condizioni operative) possono apportare.

Tra i numerosi modelli predittivi presenti in letteratura si considerano, nel presente lavoro, quelli riportati nell'Highway Safety Manual (HSM) sviluppato dal National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) del Transport Research Board [TRB (2004)] per le strade extraurbane a due corsie.

L'applicazione della metodologia di previsione del numero di incidenti richiede preliminarmente la suddivisione dell'infrastruttura in unità di analisi che consistono in segmenti di strada omogenei (rispetto al traffico, alle caratteristiche di piattaforma, alla curvatura, alla pendenza ed alle condizioni ai bordi) e nelle intersezioni.

I modelli previsionali della frequenza di incidente sono applicati proprio a queste unità di analisi, sicché il numero totale di incidenti atteso per un'intera strada N_t vale:

$$N_t = \sum N_{rs} + \sum N_{int} \quad (1)$$

in cui N_{rs} è il numero di incidenti atteso per anno per il tronco di strada omogeneo e N_{int} è il numero di incidenti atteso per l'intersezione.

Con particolare riferimento agli incidenti sui segmenti omogenei di strada (curve e rettifili), questi sono correlati alle caratteristiche geometriche di piattaforma e di

tracciato (larghezza corsia, larghezza e tipologia di banchina, curvatura orizzontale e pendenza), al momento di traffico (veic x Km all'anno), alle condizioni ai margini della strada (sistemazione dei margini, densità degli accessi). Il modello generale per predire il numero di incidenti di un tratto omogeneo è così strutturato:

$$N_{rs} = N_{br} \cdot C_r \cdot AMF_{1r} \cdot AMF_{2r} \cdot \dots \cdot AMF_{nr} \quad (2)$$

in cui N_{br} è il numero annuo di incidenti atteso nelle condizioni nominali o base, C_r è il fattore di calibrazione e AMF_{ir} sono i fattori di modifica dell'incidente (*Accident Modification Factor*) i quali consentono di tenere conto degli scostamenti delle caratteristiche effettive del tronco omogeneo rispetto alle condizioni nominali o base, che sono: larghezza corsia 12 ft (3,66 m), larghezza banchina 6ft (1,83 m), rischio del ciglio della strada 3, densità degli accessi 5 accessi/miglio, nessuna curvatura orizzontale, nessuna curvatura verticale, pendenza longitudinale nulla. Nelle condizioni nominali, il numero di incidenti atteso si calcola attraverso l'espressione:

$$N_{br} = (ADT \cdot L \cdot 365 \cdot 10^6) e^{-0,4865} \quad (3)$$

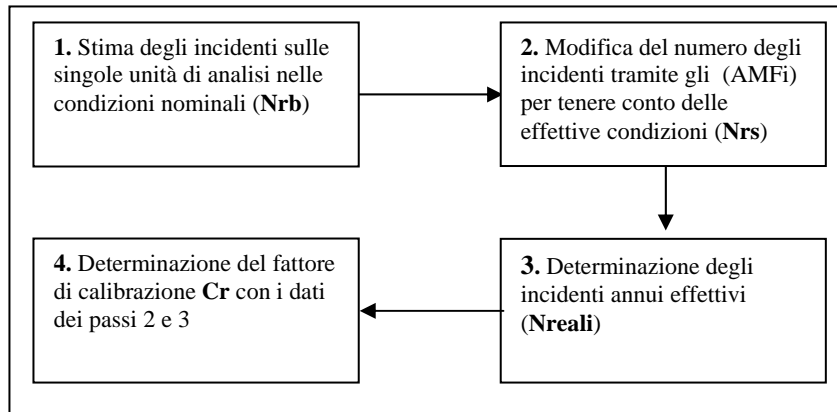
dove: ADT è il traffico medio giornaliero ed L è la lunghezza in miglia del tratto omogeneo.

Gli effetti incrementali sul numero di incidenti delle effettive caratteristiche geometriche e di controllo del traffico dei segmenti di strada sono considerati tramite gli AMFi, per i quali vengono forniti modelli grafici e numerici per la loro determinazione. Ai fini di una valutazione completa del rischio di incidente viene fornita anche una distribuzione predefinita della gravità e della tipologia di incidente [TRB (2004)].

Una grande importanza assume il fattore di calibrazione C_r che necessita di opportuna quantificazione al fine di poter adattare il modello predittivo a situazioni diverse rispetto a quelle statunitensi sulle quali è stato tarato. Ci sono infatti alcuni fattori non direttamente considerati nella metodologia di previsione della sicurezza e tra questi: i) differenze climatiche (i.e. esposizione a pavimentazione bagnata e condizioni di pavimentazione coperta da ghiaccio e neve); ii) differenze nella popolazione animale che generano più alte frequenze di collisioni con animali in alcuni stati che in altri; iii) differenze nella popolazione di autisti e scopi del viaggio (i.e., pendolari, viaggio per lavoro e per svago); iv) soglia limite nel riportare l'incidente stabilito dalla legge e/o dalla consuetudine (i.e., il valore del danno materiale minimo che richiede la registrazione dell'incidente); v) modalità di investigazione di incidenti (i.e., alcuni organi di polizia sono più diligenti sull'investigazione e nel riportare collisioni con danni materiali rispetto ad altri). La procedura di calibrazione è concepita proprio per prendere in considerazione queste differenze e offrire previsioni di incidenti che sono comparabili alle stime che gli enti proprietari o gestori della strada vorrebbero ottenere dai propri sistemi di registrazione degli incidenti.

In estrema sintesi, la procedura di calibrazione prevede i seguenti passi (Figura 2):

Figura 2 – Diagramma di flusso per la determinazione di Cr



Il processo di calibrazione riguarda anche la distribuzione della tipologia e della gravità degli incidenti, che va tarata sulla base di attendibili statistiche di incidentalità.

Il processo di adattamento del modello predittivo è, tuttavia, un esercizio non agevole ed immediato e richiede, come sarà meglio esplicitato nel seguito del lavoro, un'ampia banca dati ed approfondite valutazioni.

A valle del processo di calibrazione è possibile disporre di uno strumento di valutazione del rischio di incidente sulla rete stradale molto utile ad orientare il decisore nella individuazione delle possibili strategie di miglioramento e di omogeneizzazione del livello di sicurezza nei diversi rami.

3. LA RIQUALIFICAZIONE - STRATEGIE MITIGATORIE E DI OMOGENEIZZAZIONE DEL LIVELLO DI SICUREZZA IN TERMINI DI RETE

Non esiste un corpus teorico definitivo e chiuso di ausilio e guida nei processi di ottimizzazione della sicurezza. Esistono però, da tempo, delle strutture teoriche di riferimento internazionale, ben riconosciute e di assoluto valore. Tra di esse non può non essere citato, per esempio, il lavoro di Lamm [Lamm et al. (1999)].

L'esigenza di affrontare la dimensione pianificatoria e minimizzatrice delle criticità che le nostre arterie presentano in materia di sicurezza della locomozione è poi in Italia parte fondamentale delle seguenti emanazioni legislative: Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade (a cura del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - 2001) e Piano nazionale della sicurezza stradale.

In generale, il complesso delle soluzioni e/o mitigazioni ai problemi di sicurezza può essere suddiviso nelle seguenti macroaree fondamentali, in funzione dell'ambito di azione: a) utenza (veicolo compreso), b) strada, c) informazione e comunicazione, d) pronto intervento, e) supplementarietà.

Per ciò che concerne le azioni sull'utenza, possono annoverarsi le seguenti:

- incrementare l'uso delle cinture di sicurezza in area extra-suburbana;

- rafforzare ed ottimizzare le disposizioni legislative in materia di guida in stato di ebbrezza o sotto l'effetto di droghe e stupefacenti ed eccesso di velocità.
- favorire l'installazione di dispositivi per il controllo di stabilità del veicolo (ESC, Electronic Stability Control), utili al fine di mitigare i fenomeni di uscita fuori-strada;
- favorire la mitigazione dei fattori predisponenti i fenomeni di danno per uscita fuori-strada (airbag laterali, etc);

Nella classe di azioni mitigatorie "*strade migliori*", rientrano:

- incremento della larghezza delle banchine;
- ottimizzazione delle curve di raggio troppo esiguo;
- ottimizzazione delle intersezioni pericolose;
- introduzione ove possibile/necessario di dispositivi di ritenuta;
- introduzione di strisce rumorose per la mitigazione delle velocità;
- introduzione di misure di traffic calming (strisce rumorose, strettoie, chicane ecc.)

Per ciò che concerne la classe di azioni "*strade intelligenti*", possono essere ricordate le seguenti linee prioritarie:

- ottimizzazione delle procedure e delle analisi per la decisione dei limiti di velocità (calibrati dinamicamente anche in funzione delle condizioni di traffico);
- sviluppo di sistemi di trasporto intelligenti (Intelligent Transportation Systems, ITS):
 - o informazioni dinamiche sullo stato del traffico ed alertamenti in tempo reale;
 - o creazione di un complesso sistemico di veicoli intelligenti in infrastrutture intelligenti, in comunicazione al fine di mitigare i fenomeni di incidentalità;
 - o sistemi di avviso in casi di imminente fuori-strada o di curva pericolose;
 - o sistemi di allerta meteo per il coordinamento e l'organizzazione dei processi di spargimento di sostanze antighiaccio;
 - o impiego avanzato delle comunicazioni telefoniche (informazioni, messaggi, video, concernenti traffico, meteo, etc.).

Per quanto, invece, riguarda l'*ottimizzazione del post-incidente*, possono evidenziarsi le seguenti strategie:

- sviluppo di sistemi per la ottimizzazione del pronto intervento (rapidità, accuratezza della localizzazione, specificazione della classe di dinamica incidentale, velocità di intervento, eccellenza nelle prestazioni mediche, etc.);
- impiego delle potenzialità GIS (Geographical Information System)-Galileo;
- ottimizzazione di informazione, procedure, mezzi, tempistiche relativi ai casi di trasporto di merci pericolose (Hazmat, Hazardous Materials).

Per ciò che riguarda, infine, la *supplementarietà*, possono ricordarsi:

- collaborazioni strategiche multilivello per l'ottimizzazione della sicurezza stradale extra-suburbana,
- ottimizzazione del rapporto tra gli enti proprietari/gestori e l'università;
- piani di sviluppo ed ottimizzazione monolivello (comunale, provinciale, regionale, od al livello di agenzia stradale);
- piani di ottimizzazione orientati specificamente alle aree cantierate o ai mezzi pesanti;
- piani di divulgazione culturale ed informazione presso le scuole (elementari, medie e superiori).

Alla luce di quanto sopra è possibile dedurre che la materia oggetto di analisi presenta un grado di sistematizzazione non sufficientemente compiuto e che conseguenza ne è la coesistenza di diversi livelli tattico-strategici nella trattazione delle

analisi di sicurezza e delle tecniche di mitigazione ante e post-costruzione. Trattasi, in altri termini, di un contesto in cui la teoria della sicurezza fondata su istanze prettamente geometriche (es: HSM, Highway Safety Manual), le istanze urbanistiche (in ambito suburbano), le tecniche di controllo e mitigazione fondate sui diversi aspetti della locomozione sui gomma (azione sul conducente, sul veicolo, sulle variabili di traffico) coesistono e danno luogo ad uno scenario a molte variabili di ostica lettura e sul quale operare appare tendenzialmente difficile per effetto del carattere intrinsecamente dinamico dello stesso. Non può, comunque, essere sottaciuto che sussiste un rilievo alquanto particolare e singolare delle azioni sull'infrastruttura, per un insieme di problemi tra i quali possono annoverarsi gli enormi oneri che ogni opera infrastrutturale comporta, tanto in relazione ai costi di costruzione/manutenzione/adequamento per l'agenzia proprietaria che, non meno importanti, in relazione ai costi sull'utenza derivanti dai disagi causati dai lavori di manutenzione/adequamento. Tutto ciò posto, l'obiettivo della memoria è stato individuato nella analisi e calibrazione, per le condizioni al contorno descritte ai paragrafi precedenti, del modello di previsione del livello incidentale, prima richiamato, della HSM. A tal fine è stata progettata e realizzata un'apposita indagine sperimentale, descritta al paragrafo seguente.

4. INDAGINE SPERIMENTALE

Al fine di valutare le prestazioni di sicurezza della rete stradale mediante il ricorso ai modelli predittivi di incidentalità dell'HSM, è stata condotta una indagine sperimentale su una vasta rete di strade della provincia di Reggio Calabria. Sono stati esaminati sette tronchi stradali per una lunghezza complessiva di circa 80 Km (Tabella 4). Relativamente alla rete suddetta, sono stati raccolti dati geometrici e di traffico, dati di incidentalità (Tabella 5) [Praticò et al. (2007)] e sono state attentamente analizzate le condizioni attuali delle infrastrutture eseguendo specifici Road Safety Audit Review durante i quali sono stati redatti dei rapporti nei quali sono state indicate le criticità riscontrate e le possibili contromisure.

Tabella 4 – Caratteristiche generali delle strade considerate

L(m)	Denom.zione attuale	Note
SP1 52925	Innesto SS 18 (Gioia Tauro) - Innesto SS 106 (Locri)	Andamento regolare nella fascia tirrenica da Gioia Tauro fino a Cittanova, tortuoso il restante. Pavimentata. 473 pannelli segnaletici
SP4 39820	Innesto SS 111 (Taurianova) - Confine provinciale (Dinami)	Primo tratto da Taurianova a Cinquefrondi dall'andamento regolare a cui segue un andamento tortuoso. Pavimentata. 362 pannelli segnaletici
SP21 6265	Innesto S.S.106 - Motta S. Giovanni	Andamento tortuoso con alternanza di tratti regolari, tratto finale regolare. Strada pavimentata 33 pannelli segnaletici
SP22 14680	S.S.106 - Saline - Montebello - Fossato	Andamento tortuoso. Strada pavimentata. 85 pannelli segnaletici
SP52 27265	Rosarno (Ponte Annegato) - Ponte Metramo - Laureana di Borrello - Mantegna	Andamento regolare con presenza di qualche tratto tortuoso
SP72 9645	Innesto S.S. 106 (Bovalino) - S. Luca	Andamento regolare tranne per un breve tratto finale dall'andamento tortuoso. Strada pavimentata. 49 pannelli segnaletici

Fatte salve alcune condizioni singolari, in generale le criticità riscontrate, generalizzabili su tutta la rete considerata, attengono a:

- scarsa leggibilità dei tracciati per carente coordinamento-planoaltimetrico;
- scarsa visibilità degli accessi, non correttamente segnalati e/o occultati da vegetazione;
- banchine di ampiezza variabile e talora non pavimentate;
- scarso stato di manutenzione della segnaletica orizzontale e verticale;
- inadeguatezza delle barriere di sicurezza;
- presenza di vegetazione ai bordi della strada che pregiudica la visibilità;
- insufficienti caratteristiche funzionali e meccaniche della pavimentazione.

Tabella 5 – Dati geometrici generali delle strade considerate

	SP1(1)	SP1(2)	SP4	SP2 1	SP2 2	SP5 2	SP72
Lunghezza [m]	1759 8	8393	647 2	633 2	952 7	885 6	1039 5
Larghezza corsia [m]*	3,50 -4,50	3,75	4,00 - 4,20	3,75	3,75	3,75	3,75
Larghezza banchina [m]*	0,75	0,75	0,50 - 1,50	0,75	0,50	0,75	0,75
TGM [veic gior]	7700	1200	530 0	220 0	250 0	400 0	3600
Rmin [m]	26	12	16	9	8	11	9
Rmax [m]	449	176	493	213	94	252	215
Incidenti/anno	1,66	0,33	0,33	1,33	0,67	1,33	3,00

*dimensioni, in generale, variabili

Sulla scorta dei dati disponibili è stato possibile applicare il modello predittivo di incidentalità dell'HSM sui tronchi stradali omogenei. Preliminarmente si è proceduto alla individuazione di tali tronchi e successivamente, per ciascuno di essi, è stato calcolato il numero di incidenti previsti da modello nelle condizioni base o nominali (Nbr) e nelle condizioni reali (Nrs). Come era a attendersi [TRB (2004)], il numero di incidenti previsto (Nrs(1), ottenuto per Cr=1) è diverso dal numero effettivo di incidenti annui verificatisi sulle arterie. Ciò è dovuto anche al fatto che il modello predittivo è tarato su dati sperimentali riferiti ad aree geografiche e contesti diversi da quelli presi in considerazione.

In effetti l'HSM prevede specifiche procedure di calibrazione proprio al fine di adattare il modello alle condizioni locali delle reti stradali oggetto di analisi. La calibrazione è richiesta sia per quanto riguarda la previsione del numero di incidenti sia per quanto concerne la distribuzione tipologica degli incidenti. In particolare poi, nell'indagine sperimentale condotta, Nrs(1) è risultato in generale maggiore rispetto al numero medio annuo (calcolato su 6 anni) di incidenti reali, in accordo con quanto

riscontrato nella letteratura di settore per condizioni al contorno, in prima istanza, assimilabili quelle del territorio di Reggio Calabria [Di Mino et al. (2006), Cafiso et al. (2006)]

La stima del numero di incidenti sulle unità di analisi riferiti alle condizioni reali, è stata preceduta dal calcolo degli AMFi. Nel calcolo degli AMFi è emerso un significativo “peso” del raggio delle curve circolari. In effetti, il valore assunto dall'AMFc (AMF relativo alle curve orizzontali, dipendente da raggio, lunghezza, presenza/assenza di curva di transizione), nei casi di curve di raggio e sviluppo ridotti, assume valori molto elevati (fino ad oltre 300) che amplificano notevolmente il numero di incidenti rispetto a quello calcolato nelle condizioni nominali (Tabella 6).

Tabella 6 – Valori minimo massimo e medio di AMFc

	SP1 (1)	SP1 (2)	SP4	SP 21	SP 22	SP 52	SP 72
AMF_c (min)	1,04	1,60	1,02	4,07	1,78	1,13	1,14
AMF_c (med)	3,81	29,74	9,54	55,38	48,77	10,36	16,72
AMF_c (max)	13,87	143,46	54,32	231,54	315,55	89,55	94,57

In Tabella 7, per le strade considerate, è riportato il fattore complessivo di amplificazione (produttoria degli AMFi per Cr pari a 1) del numero incidenti rispetto alle condizioni nominali, (Nrs(1)/Nbr), unitamente al fattore di calibrazione (Cr), stimato in funzione del tasso incidentale annuo medio reale.

Con riferimento alle Tabelle 7 e 8 è possibile osservare che il rapporto Nrs(1)/Nbr assume valori variabili (da circa 2 a circa 33). Inoltre, è possibile constatare che, in considerazione della sostanziale uniformità delle caratteristiche geometriche di piattaforma e delle condizioni ai margini delle strade considerate, il diverso valore assunto dal rapporto Nrs(1)/Nbr è da attribuirsi in maniera preponderante alla tortuosità dei diversi tracciati. Il maggior valore del rapporto Nrs(1)/Nbr, infatti, si attribuisce alle SSPP 21 e 22 che presentano un raggio medio delle curve (pari a circa 40 m) notevolmente inferiore a quello delle altre strade (variabile da 168 m a 283 m).

Tabella 7 – Dati pre-filtraggio

	L [m]	TGM	R med	Incidenti reali	Nbr	Nrs(1)	Nrs(1)/Nbr	Cr
SP1 (1)	17598	7700	264,55	1,66	18,90	30,67	1,62	0,05
SP1 (2)	8393	1200	264,55	0,33	1,40	13,76	9,80	0,02
SP4	6472	5300	282,78	0,33	4,78	13,94	2,91	0,02
SP21	6332	2200	38,98	1,33	1,94	63,32	32,59	0,02
SP22	9527	2500	42,02	0,67	3,32	100,75	30,33	0,01
SP52	8856	4000	167,94	1,33	4,94	17,53	3,55	0,08
SP72	10386	3600	197,17	3,00	5,21	29,37	5,63	0,10
Nrs(1): Nrs con Cr=1								

Alla luce di quanto sopra, considerate le condizioni di traffico (ridotto valore di TGM, tendenziale possibilità di invasione della corsia opposta nel caso di ridotti raggi di curvatura planimetrici), le caratteristiche orografico-geometriche delle arterie considerate, la ridotta variabilità delle condizioni ai margini, la sussistenza di un fattore 10 tra il valore massimo e minimo di Cr, e la letteratura di settore [Di Mino et al. (2006), Cafiso et al. (2006)], si è investigato sulle conseguenze derivanti da un carattere superiormente limitato del valore di AMFc. Si è inteso, in sostanza, attribuire a tutti gli AMFc superiori ad un certo valore, detto di filtraggio, proprio tale valore. A tal proposito, al fine di limitare il carattere tendenzialmente arbitrario del valore scelto per il filtraggio superiore (qui denominato AMFcmax), si è assunto, in prima istanza, quale AMFcmax quello corrispondente ad un raggio planimetrico di 45m (minimo valore in ambito extraurbano), ed un sviluppo di 27.8 m (pari ad una percorrenza in 2.5 s alla velocità di 40Km/h):

$$AMF_{cmax} = \frac{1,55 \cdot L_c + \frac{80,2}{R} - 0,012 \cdot S}{1,55 \cdot L_c} = \frac{1,55 \cdot \frac{27,8}{1609} + \frac{80,2 \cdot 0,304}{45} - 0,012 \cdot 0}{1,55 \cdot \frac{27,8}{1609}} \cong 21,26$$

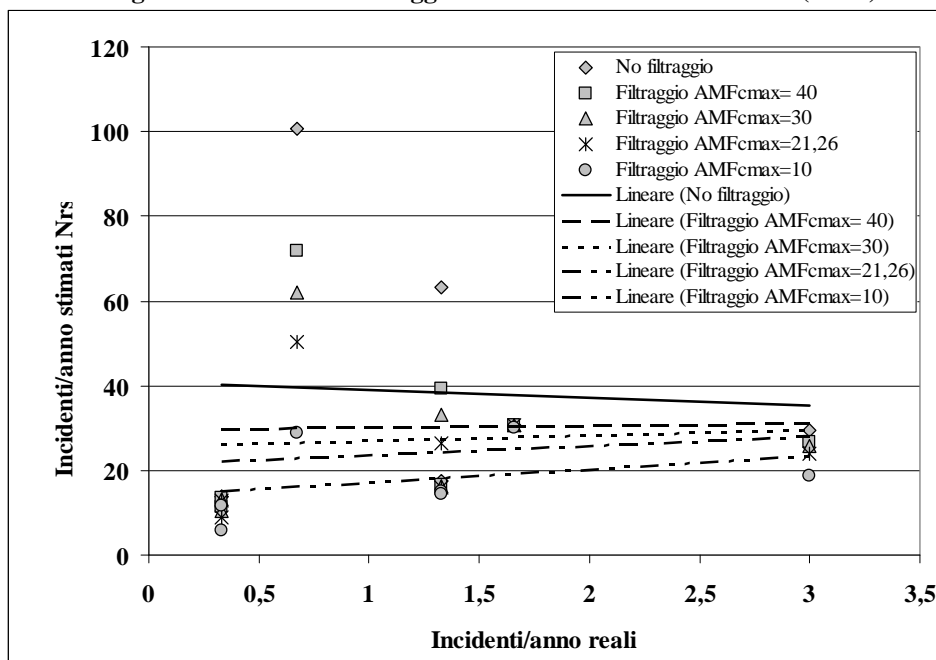
Sono stati, quindi, nuovamente determinati il valore base atteso del numero di incidenti/anno (Nbr), quello corretto in base agli AMFi (Nsr(1)) e comparati con i corrispettivi valori reali (stimati quale media su 6 anni). A tal proposito giova precisare che, oltre al sopra indicato filtraggio (AMFcmax=21.26), si sono operati filtri con altri valori di AMFcmax, stimando, in ciascuno dei casi, il coefficiente di correlazione esistente tra il numero di incidenti reali e quelli stimati dal modello per Cr=1. La Tabella 8 (nella quale, AMFcmax=316 rappresenta la condizione di non filtraggio) riassume i risultati ottenuti. Sulla base di quanto in Tabella 8 è possibile osservare che: i) è ribadita l'invarianza del valore stimato base (Nbr) rispetto alla tortuosità dell'arteria; ii) la correlazione tra incidenti reali ed incidenti stimati (Nrs(1)) appare tendenzialmente ridotta tanto nel caso di filtraggio che in assenza dello stesso; iii) al crescere della tortuosità dell'arteria e/o al decrescere della AMFcmax assunto in fase di filtraggio, cresce il rapporto tra il coefficiente di calibrazione post-filtraggio e quello pre-filtraggio; iv) i valori di Cr variano tra 0,01 e 0,16.

Tabella 8 – Dati post-filtraggio

	AMFcmax												
	10			21,26			30			40			316
	Nrs(1)	Nrs(1)/Nbr	Cr	Nrs(1)	Nrs(1)/Nbr	Cr	Nrs(1)	Nrs(1)/Nbr	Cr	Nrs(1)	Nrs(1)/Nbr	Cr	Cr
SP1(1)	30,05	1,59	0,06	30,67	1,62	0,05	30,67	1,62	0,05	30,67	1,62	0,05	0,05
SP1(2)	5,98	4,26	0,06	8,83	6,29	0,04	10,32	7,34	0,03	11,36	8,08	0,03	0,02
SP4	11,70	2,45	0,03	12,75	2,66	0,03	13,20	2,76	0,03	13,61	2,84	0,02	0,02
SP21	15,04	7,74	0,09	26,40	13,59	0,05	33,13	17,05	0,04	39,34	20,25	0,03	0,02
SP22	28,86	8,69	0,02	50,26	15,13	0,01	61,94	18,65	0,01	71,90	21,65	0,07	0,01
SP52	14,56	2,95	0,09	15,97	3,23	0,08	16,34	3,31	0,08	16,62	3,36	0,08	0,08
SP72	18,61	3,57	0,16	23,80	4,56	0,13	25,68	4,93	0,12	26,83	5,15	0,11	0,10

La Figura 3 illustra, nel piano Nreali (ascisse) Nsr (Cr=1, ordinate), per ciascuna delle 4+1 configurazioni di filtraggio, le modifiche indotte, dal processo di filtraggio, alle interpolanti lineari. La correlazione in assenza di filtraggio, come si evince dalla figura 3, è in tendenziale controtendenza rispetto alle altre. Pur nella necessità di ulteriori indagini e studi, anche per effetto della ridotta significatività del campione esaminato, è possibile dedurre che al crescere valore di filtraggio (cioè da 316 c.a a 10 c.a), le interpolanti tendono ad avere derivata prima positiva nel diagramma stima(ordinate)/realtà(ascisse). I valori del coefficiente di determinazione, pur se accentuatamente ridotti, tendono corrispondentemente ad aumentare, poi con tendenziale stabilizzazione.

Figura 3 - Effetto del filtraggio sulla correlazione Nreali-Nsr (Cr=1)



5. CONCLUSIONI

E' ben noto che la riorganizzazione funzionale delle reti stradali a supporto di una più sostenibile ed efficace mobilità urbana e sub-urbana non può prescindere dall'attenta valutazione delle condizioni di sicurezza. La relativa quantificazione attraverso algoritmi previsionali nei termini indicati dal noto HSM appare, però, alquanto ostica. Attraverso l'indagine sperimentale, condotta per alcune delle arterie della rete delle provinciali reggine, è emerso che sussiste la necessità di processi di calibrazione talvolta piuttosto complessi al fine di adattare la struttura generale al particolare contesto reggino. In particolare, per ciò che concerne la dipendenza

dell'incidentalità dalla tortuosità delle arterie, per raggi particolarmente ridotti, l'amplificazione indotta dal relativo fattore di modifica (AMFc) è apparsa necessitare di ulteriori approfondimenti ed indagini. Per effetto della esigua numerosità del campione osservato e della necessità di meglio indagare su alcune delle variabili, lo studio e le relative conclusioni dovranno essere validati e riesaminati a valle di una preliminare riprogettazione e realizzazione di nuovi esperimenti.

BIBLIOGRAFIA

Cafiso S., Di Graziano A., La Cava G., Taormina S. (2006) *Analisi predittive dell'incidentalità su strade italiane mediante l'utilizzo del modello IHSDM* Atti XVI Convegno Nazionale SIIV, Cosenza 20-22 settembre 2006 ISBN 88-7458-050-9.

Gatti G. et al. (2007) *Safety Handbook for Secondary Roads* Deliverable n°13 RIPCORDER-ISEREST project financed by European Commission under the EU Sixth Framework programme.

Giunta M., Di Mino G (2006). *Misura della sicurezza stradale secondo le metodiche dell'Highway Safety Manual per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti* Atti XVI Convegno Nazionale SIIV, Cosenza 20-22 settembre 2006 ISBN 88-7458-050-9.

Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E., Hughes, W. E. Vogt, A. (2000). *Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways*, Report No. FHWA-RD-99-207. Federal Highway Administration.

Lamm, R., Psarianos B., Mailaender T. et al. (1999) *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook* ISBN 0-07-038295-6 McGraw-Hill Professional Book Group, New York., U.S.A.

Praticò F., Leonardi G., Scopelliti F., Giunta M. (2007). *Assessing road safety levels in a road network on the basis of unlocalised accident data* Proceedings of IV International SIIV Congress on Advances in Transport Infrastructures and Stakeholders Expectations, September 12 – 14, 2007, Palermo ISBN 13 978-88-8207-260-5.

TRB (2004) *Development of a Highway Safety Manual NCHRP Web Document 62 (Project 17-18[4])* Contractor's Final Report - USA.

Vogt, A. Bared J. G. (1988)- *Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections* Report No. FHWA-RD-98-133, FHWA, U.S. Department of Transportation.