



# **XIII CONVEGNO NAZIONALE S.I.I.V.**



## **SICUREZZA DELLE INTERSEZIONI STRADALI IN AMBITO URBANO: PROPOSTA DI MODELLI ANALITICI PREVISIONALI DEL LIVELLO DI INCIDENTALITÀ**

**Salvatore Leonardi**

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università degli Studi di Catania  
Viale Andrea Doria n. 6, 95125 Catania  
Tel: +39 095 7382202 - Fax: +39 095 7382247  
E-mail: sleona@dica.unict.it

**Giuseppina Pappalardo**

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università degli Studi di Catania  
Viale Andrea Doria n. 6, 95125 Catania  
Tel: +39 095 7382202 - Fax: +39 095 7382247  
E-mail: giusy.pap@dica.unict.it

# **SICUREZZA DELLE INTERSEZIONI STRADALI IN AMBITO URBANO: PROPOSTA DI MODELLI ANALITICI PREVISIONALI DEL LIVELLO DI INCIDENTALITÀ**

**SALVATORE LEONARDI** - Dipartimento Ingegneria Civile Ambientale - Università di Catania  
**GIUSEPPINA PAPPALARDO** - Dipartimento Ingegneria Civile Ambientale - Università di Catania

## **SOMMARIO**

Nella presente memoria si intende proporre un modello analitico per la previsione del livello di incidentalità associato alle intersezioni stradali di una rete stradale urbana. Dopo aver passato in rassegna le principali formulazioni proposte a livello internazionale, si esporrà l'iter metodologico che ha consentito di elaborare un modello previsionale avente come dato di input il flusso complessivamente gravante sull'intersezione. La formulazione analitica, ottenuta sulla base dei dati associati a circa 450 incroci urbani, consente di studiare agevolmente le problematiche inerenti alla sicurezza delle reti stradali urbane e alla gestione del traffico lungo gli archi e i nodi delle reti medesime.

## **ABSTRACT**

In this paper we'll propose an analytical model for the prediction of the accident frequency associated to the urban road intersections. After a review of the main formulations proposed to international level, it is exposed a methodological procedure that has concurred to elaborate a previsional model, that have, as data of input, the intersection flows. The analytical formulation, obtained on the basis of the data associates to about 450 urban crossroads, concurs to study the problematic concerning to the safety of the road network and to the management of the traffic loading on the same network.

## **1. INTRODUZIONE**

La progettazione di una nuova configurazione della rete viaria, ai fini del miglioramento della sicurezza stradale, può essere affrontata con l'ausilio di strumenti matematici che, fissando le variabili note dei sistemi stradali urbani (schema di circolazione, regolazione delle intersezioni, flussi e velocità sugli archi, etc.), forniscono una previsione quantitativa dell'incidentalità, ad esempio attraverso il numero di incidenti annuo.

Tale previsione non è semplice a causa della quantità elevata e delle interazioni complesse dei parametri che entrano in gioco, che includono fattori relativi alla strada, al traffico, all'ambiente, oltre a quelli del guidatore e del veicolo.

Le ricerche nazionali ed internazionali, condotte sui modelli di simulazione dell'incidentalità si concentrano soprattutto sull'ambito extraurbano. Invece in ambito urbano, la loro specificazione è più complicata poiché il numero degli incidenti non dipende solo dagli elementi geometrici dell'infrastruttura, ma anche dai conflitti che nascono tra i diversi flussi di traffico.

Nella prima parte della presente memoria, si intende passare in rassegna i principali modelli previsionali, presenti in letteratura, in grado di fornire una stima più o meno attendibile del tasso di incidentalità gravante sui nodi che definiscono una rete stradale urbana. In particolar modo, si potrà rilevare come gran parte delle formulazioni analitiche proposte si traduca in relazioni in cui il tasso di incidentalità atteso su un incrocio urbano è funzione della somma (o del prodotto) dei flussi veicolari convergenti nel nodo stesso; inoltre, tali modelli previsionali sono frequentemente strutturati in una forma matematica caratterizzata dalla presenza di due fattori di regressione posti, rispettivamente, come moltiplicatore e come esponente della funzione di flusso prescelta. Nella seconda parte della ricerca, invece, si procederà all'esposizione dell'iter metodologico che condurrà alla proposizione di una formulazione analitica che, alla stessa stregua di quelle proposte in letteratura, permette, in prima analisi, di valutare il grado di incidentalità degli incroci urbani, in funzione della variabile rappresentata dalla sommatoria dei flussi interessanti globalmente le intersezioni.

Il modello previsionale, risultante da una serie di elaborazioni relative ai dati di duplice natura (flussi di traffico e numero di sinistri) associati ad oltre 450 intersezioni variamente distribuite nei territori di cinque comuni della Sicilia Orientale, costituisce, a nostro avviso, un primo importante strumento per la valutazione del livello di pericolosità dei nodi urbani. Si ritiene inoltre che l'utilizzo di una formulazione analitica di facile applicabilità, quale è per l'appunto il modello elaborato, consenta di studiare agevolmente le problematiche, tra l'altro previste anche dai Piani Urbani di Traffico (P.U.T.), inerenti alla sicurezza delle reti stradali urbane e alla gestione del traffico lungo gli archi e i nodi delle reti medesime.

## 2. MODELLI PREVISIONALI DELL'INCIDENTALITÀ NEI NODI STRADALI

I modelli di previsione dell'incidentalità stradale in ambito urbano si possono considerare costituiti da due sottomodelli: uno per la simulazione del traffico e un altro per la simulazione dell'incidentalità. In prima approssimazione, i modelli per la previsione dell'incidentalità urbana, possono essere definiti tramite le **funzioni di prestazione**, cioè le relazioni matematiche tra il numero d'incidenti medio annuo e alcune variabili caratteristiche del traffico (flussi veicolari, velocità, ecc.).

Nella letteratura nazionale italiana, i modelli previsionali dell'incidentalità relativi alle intersezioni presenti in ambito urbano sono poco presenti, mentre le principali formulazioni elaborate in ambito internazionale sono di seguito riportate.

### 1) Modello proposto dal PTRC- Stark ("Speed & Junction Accidents") [1]

Sono state formulate delle correlazioni che mettono in conto anche le velocità delle correnti confluenti all'intersezione ed il numero di intersezioni presenti lungo il tratto di strada prossimo all'intersezione. Una di queste correlazioni è la seguente:

$$A = r \cdot F \cdot \sum_i (g_{1i} + g_{2i} + (g_{1i} \cdot g_{2i})^{1/2}) \cdot V^2 \quad (1)$$

in cui:

- A = frequenza di incidentalità;
- F = flusso veicolare totale sulla strada principale
- $g_{1i}$  e  $g_{2i}$  = flussi veicolari sui rami delle strade secondarie confluenti all'intersezione;
- V = velocità sulla strada principale;
- r = costante calibrata mediante analisi statistiche.

2) Modello di Brude & Hedman [2]

Con questo modello svedese è possibile stimare il tasso di incidentalità (numero medio di incidenti per milione di veicoli confluenti all'intersezione) in ambito urbano nella forma seguente:

$$T = a \cdot (I_p + I_s)^b \cdot \left( \frac{I_s}{I_p + I_s} \right)^c \quad (2)$$

in cui:

- T = tasso di incidentalità (incidenti/10<sup>6</sup> veicoli confluenti);
- I<sub>p</sub>, I<sub>s</sub> = flussi veicolari sulla strada principale e sulla strada secondaria;
- a, b e c = coefficienti di regressione dipendenti dal tipo di intersezione.

3) Modello di Hedman & Larson [3]

Il modello danese fornisce, come il precedente, la stima del tasso di incidentalità in ambito urbano attraverso tale relazione:

$$T = a \cdot I_p^b \cdot I_s^c \quad (3)$$

in cui:

- T = tasso di incidentalità (incidenti/10<sup>6</sup> veicoli confluenti);
- I<sub>p</sub>, I<sub>s</sub> = portate veicolari sulla strada principale e sulla strada secondaria;
- a, b e c = coefficienti di regressione dipendenti dal tipo di intersezione.

4) Modello di Bonneson and McCoy (1993) [4]

Questo modello è stato tarato su un campione di 24 intersezioni, in 8 Stati degli USA (California, Colorado, Florida, Kansas, Maine, Maryland, South Carolina e Vermont).

La forma del modello è la seguente:

$$A = k \cdot Q_1^\alpha \cdot Q_2^\beta \quad (4)$$

dove:

- A = frequenza di incidenti (incidenti per anno) ad un'intersezione;
- Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> = valori del TGM sulla strada principale e sulla strada secondaria;
- k, α e β = coefficienti della regressione multipla aventi i seguenti valori: k=0.000379, α=0.256, β=0.831.

5) Modello di Martine Vertet & Thierry Brenac [5]

Questo modello è stato dedotto dallo studio di un campione di 118 incroci francesi, ripartiti su 27 dipartimenti studiati per un periodo di cinque anni (1986-1990) ed ha la seguente forma analitica:

$$A = J \cdot (2,73 \cdot 10^{-5}) \cdot (TS^{0,62}) \cdot (TP^{0,51}) \cdot F_{bra} \cdot F_{voie} \cdot F_c \quad (5)$$

dove:

- A = numero di incidenti previsto nel periodo preso in esame;
- J = numero di anni compresi nel periodo in esame;
- TS, TP = TGM sulla strada secondaria e sulla secondaria (nei due sensi di marcia, espresso in veicoli/giorno);
- F<sub>bra</sub> = funzione del numero di diramazioni dell'incrocio; è uguale ad 1 se il numero di diramazioni è pari a 3, mentre è pari a 2.18 se il numero di diramazioni è uguale a 4;
- F<sub>voie</sub> = funzione del numero di corsie della strada principale; è uguale a 1.63 se la strada principale è a 2 x 2 corsie, mentre vale 1 negli altri casi;
- F<sub>c</sub> = coefficiente che tiene conto dell'evoluzione degli incidenti stradali; è costituito dal rapporto tra il tasso medio di incidenti con feriti nel periodo preso in esame ed il tasso medio registrato nel periodo preso in esame.

Il modello può essere utilizzato per qualsiasi incrocio tra strade principali (il cui traffico è compreso tra 3000 e 25000 veicoli/giorno) e strade secondarie (con un flusso di traffico compreso tra 500 e 8000 veicoli/giorno). Può anche essere usato, con qualche riserva, per una gamma più ampia di flussi: da 2000 a 40000 veicoli/giorno per la strada con diritto di precedenza e da 0 a 13000 veicoli/giorno per la strada secondaria.

6) Modello di Tanner [6]

Questo modello, tarato su 232 intersezioni a T del Regno Unito, ha la seguente forma:

$$A = 0.0045 \cdot q_r^{0.56} \cdot Q^{0.62} + 0.0075 \cdot q_l^{0.36} \cdot Q^{0.86} \quad (6)$$

dove:

- A = numero di incidenti / anno;
- Q = corrente di traffico sul braccio secondario dell'intersezione a T;
- $q_r$  = somma della corrente di traffico che dal braccio primario svolta a sinistra nel braccio secondario dell'intersezione a T e di quella che dal braccio secondario svolta a destra nel braccio primario dell'intersezione a T;
- $q_l$  = somma della corrente di traffico che dal braccio primario svolta a destra nel braccio secondario dell'intersezione a T e di quella che dal braccio secondario svolta a sinistra nel braccio primario dell'intersezione a T.

7) Modello di McDonald [7]

Il modello, ottenuto sulla base di elaborazioni relative a un campione di 150 intersezioni in California, si presenta con la seguente forma:

$$A = R \cdot Q_1^{0.455} \cdot Q_2^{0.633} \quad (7)$$

in cui:

- A = numero di incidenti / anno;
- $Q_1, Q_2$  = valori del TGM sulla strada principale e sulla strada secondaria;
- R = costante.

8) Modello di Leong [8]

La formulazione analitica di questo modello è la seguente:

$$A = R \cdot Q_1^a \cdot Q_2^b \quad (8)$$

dove:

- A = numero di incidenti in un anno;
- $Q_1, Q_2$  = valori del TGM sulla strada principale e sulla strada secondaria;
- R = costante;
- a = costante il cui valore è compreso tra -0.03 e 0.38;
- b = costante il cui valore è compreso tra 0.07 e 0.49.

Questo modello è stato tarato su un campione di 243 intersezioni urbane del New South Wales, in Australia. Hogde e Richardson, analizzando gli stessi dati di Leong, hanno ricavato rispettivamente per a valori compresi tra -0.01 e 0.54 e per b valori compresi tra 0.14 e 0.51.

9) Modello di Grossman [6]

In base al modello di Grossman, esiste una relazione diretta tra gli incidenti e la somma dei volumi di traffico che attraversano le intersezioni. In particolare, si ha:

$$N = K \cdot (Q_1 + Q_2) \quad (9)$$

dove:

- N = numero di incidenti in un anno;
- $Q_1, Q_2$  = TGM entranti dalla strada principale e dalla strada secondaria;
- K = costante.

10) Modello di Chapman, Silcock & Worsey [9]

Sono state valutate tre forme dell'indice di previsione degli incidenti:

$$N = K \cdot (Q_1 + Q_2) \quad (10)$$

$$N = K \cdot (Q_1 \cdot Q_2) \quad (11)$$

$$N = \sqrt{Q_1 \cdot Q_2} \quad (12)$$

dove:

- N = numero di incidenti in un anno;
- $Q_1, Q_2$  = TGM entranti dalla strada principale e dalla strada secondaria;
- K = costante.

11) Modello di Brenac e Connolly [10]

È un modello avente la seguente forma:

$$f_{ij} = \frac{A_i v_{ij}}{\sum_0^n v_{ij}} \quad (13)$$

dove:

- $f_{ij}$  = numero di incidenti previsti nell'intersezione i all'anno j;
- $A_i$  = numero totale di incidenti all'intersezione i;
- $v_{ij}$  = media annuale del traffico giornaliero medio nell'intersezione i all'anno j ( $1 \leq j \leq n$ );
- n = numero di anni del periodo di studio.

12) Modello del TRL (Transport Research Laboratory) [11]

Il Transport Research Laboratory, TRL nel Regno Unito, ha sviluppato dei modelli previsionali per i seguenti tipi di intersezioni:

- a quattro braccia semaforizzata;
- a tre braccia semaforizzata;
- intersezioni con regole di precedenza.

L'obiettivo di questi modelli è di associare la frequenza di incidentalità nelle intersezioni ad una serie di variabili esplicative, in modo tale che il modello possa essere utilizzato per esaminare l'effetto dei flussi veicolari, pedonali e delle caratteristiche dell'intersezione sulla frequenza di incidentalità.

Il metodo statistico utilizzato nei modelli è quello dell'analisi delle regressioni multiple, dove le variabili esplicative o indipendenti della regressione sono funzioni dei flussi di traffico, dei flussi pedonali, del sito, della geometria e delle altre caratteristiche delle intersezioni.

I modelli previsionali dell'incidente sono stati sviluppati su tre livelli:

- 1) incidenti totali/flussi;
- 2) incidenti/flussi per tipo di incidente e ramo dell'intersezione;
- 3) incidenti/flussi/geometria per tipo di incidente e ramo dell'intersezione.

Riguardo al primo tipo di modelli, una delle formulazioni proposte dal TRL ha la seguente forma:

$$A = 0.298 \cdot (Q_{MA} + Q_{MI})^{0.634} \quad (14)$$

dove:

- A = numero di incidenti in un anno;
- $Q_{MA}$  = TGM della strada principale (in migliaia di veicoli al giorno);
- $Q_{MI}$  = TGM della strada secondaria (in migliaia di veicoli al giorno).

### 3. ITER METODOLOGICO PER L'ELABORAZIONE DI UN MODELLO PREVISIONALE DELL'INCIDENTALITÀ SUI NODI DI UNA RETE STRADALE URBANA

La realizzazione di un modello previsionale dell'incidentalità sulle intersezioni stradali urbane, richiede l'acquisizione di un campione statisticamente significativo di dati. Nell'ambito del presente studio, si è adottato, in primo luogo, il criterio di analizzare singolarmente il grado di pericolosità delle reti stradali urbane appartenenti ad una serie di comuni della Sicilia Orientale. In secondo luogo, si è voluta svolgere un'analisi globale finalizzata alla redazione di una formulazione analitica di validità generale fondata sui dati complessivamente trattati.

Riguardo ai centri urbani da sottoporre ad analisi, la scelta è ricaduta sui seguenti cinque comuni:

- Il Comune di **Siracusa** (popolazione: 123.657 abitanti, superficie: 236,2 km<sup>2</sup>).
- Il Comune di **Caltagirone** (popolazione: 37.373 abitanti, superficie: 380,26 km<sup>2</sup>).
- Il Comune di **Acireale** (popolazione: 50.190 abitanti, superficie: 40 km<sup>2</sup>).
- Il Comune di **Gravina di Catania** (popolaz.: 27.343 abitanti, superf.: 5,04 km<sup>2</sup>).
- Il Comune di **Misterbianco** (popolazione: 43.995 abitanti, superficie: 37,51 km<sup>2</sup>).

Le motivazioni che hanno portato alla selezione dei suddetti comuni sono da attribuire alla valutazione di tre diverse tipologie di dati: tassi di incidentalità (su base ISTAT), popolazione residente, densità abitativa. In particolare:

- **Sono stati scelti tre comuni appartenenti alla fascia di popolazione compresa tra 30.000 e 60.000 abitanti**, ovvero quella fascia rientrante nel range previsto dalle Norme per la redazione dei P.U.T. che prevedono, tra l'altro, la realizzazione di interventi migliorativi della rete stradale per il perseguimento di diversi obiettivi (inquinamento, sicurezza, ecc.). La scelta specifica dei Comuni di Acireale, Caltagirone e Misterbianco è stata poi indotta da considerazioni inerenti ai tassi di incidentalità e alla popolazione. Infatti il Comune di Caltagirone è quello che, nell'intervallo di popolazione considerato, presenta il valore più elevato del tasso di incidentalità, ovvero 43,13 incidenti ogni 10.000 abitanti. Per contro, Misterbianco, con un tasso di incidentalità pari a 0,7 incidenti/10.000 abitanti, rientra tra i Comuni della Sicilia orientale aventi il più basso valore del tasso medesimo. Infine, Acireale è stato prescelto in quanto, tra tutti i comuni del range preso in esame, è quello caratterizzato dal numero maggiore di abitanti; inoltre manifesta un valore del tasso di incidentalità, pari a 15,19 incidenti ogni 10.000 abitanti, che si attesta nell'intorno del valore medio complessivo.
- **È stato selezionato un comune della Sicilia Orientale con popolazione superiore a 60.000 abitanti**. La scelta è ricaduta su Siracusa in quanto, tra tutti i 9 comuni rientranti nella categoria di popolazione esaminata, è quello che presenta il valore minimo del tasso di incidentalità riferito alla popolazione (14,35 incidenti ogni 10.000 abitanti). Per di più tale valore del tasso, essendo confrontabile con il valore medio relativo alla classe di popolazione cui ci si è riferiti al punto precedente (ovvero quella compresa tra 30.000 e 60.000 abitanti) è indicativo di una certa omogeneità dei dati relativi ai Comuni presi in esame.
- **È stato prescelto un comune con un numero di abitanti inferiore a 30.000**. Si è deciso di prendere in esame il Comune di Gravina di Catania, in base a diverse motivazioni. In primo luogo si tratta del comune che presenta la massima densità abitativa (5.425 abitanti/km<sup>2</sup>) dell'intera Sicilia ed è tra i primi su scala nazionale

(occupa la 25<sup>a</sup> posizione su oltre 8.000 comuni). Questo criterio di selezione è stato principalmente motivato dall'esigenza di prendere in esame una rete stradale potenzialmente oggetto di molteplici fenomeni di congestione causati dalla presenza di elevati flussi veicolari, per di più concentrati su aree limitate. In effetti, si deve anche osservare che il Comune di Gravina, con una superficie di circa 5 km<sup>2</sup>, occupa uno degli ultimi posti, tra i centri abitati siciliani, in relazione al territorio impegnato (soltanto 12 comuni su 390 occupano un'area inferiore). Altre motivazioni che hanno indotto alla scelta di Gravina, sono da ricercarsi nel tasso di incidentalità (pari a 8,8 incidenti/10.000 abitanti) paragonabile con quello degli altri quattro comuni selezionati e nell'entità della popolazione che, essendo non troppo lontana dal limite dei 30.000 abitanti, lascia supporre la possibilità di espansione in un arco di tempo relativamente ridotto.

La procedura per la deduzione del modello previsionale dell'incidentalità stradale in ambito urbano è stata articolata secondo le 5 fasi operative esposte di seguito.

**Prima fase:** Per avere un'indicazione sulle dimensioni del fenomeno incidentale in ognuno dei contesti urbani assunti come riferimento si è proceduto, per l'intera rete stradale e per l'intervallo temporale d'indagine, alla caratterizzazione dei sinistri con danni non solo materiali (ovvero con feriti e/o morti). Anche il numero dei feriti e dei decessi è stato adeguatamente quantificato.

**Seconda fase:** La distribuzione dell'incidentalità sull'intera area comunale è stata verificata attraverso le circostanze o i fattori ambientali che incidono maggiormente sull'insorgere del fenomeno, quali:

- luogo dell'incidente (rettilineo o intersezione): si è adottato il criterio di considerare accaduti in un'intersezione tutti quegli incidenti verificatisi entro 20 m dall'inizio dei rami di approccio;
- natura dell'incidente (fuoriuscita, investimento di pedoni, scontro frontale, scontro frontale-laterale, scontro laterale, tamponamento, urto con veicolo in fermata, urto con veicolo in sosta ed infortunio per caduta dal veicolo);
- tipo di veicoli coinvolti (autobus, mezzi pesanti, ciclomotori, autovetture, ecc.);
- numero di veicoli coinvolti (isolati, due o tre veicoli);
- tipo di feriti e di morti (conducenti o altri passeggeri).

**Terza fase:** Al fine di definire compiutamente il livello di pericolosità delle intersezioni urbane, si è effettuata l'analisi statistica dei dati d'incidentalità. Le modalità prescelte per il trattamento statistico dei dati possono essere sintetizzate attraverso il seguente iter metodologico:

- Numerazione e localizzazione su apposita cartografia digitalizzata, di tutte le intersezioni presentanti almeno un incidente nel periodo di riferimento.
- Attribuzione, a ciascun nodo, del corrispondente numero di incidenti annuo, definito "Tasso di incidentalità annuo" e contrassegnato con la lettera "A".
- Caratterizzazione di ciascun incrocio, in funzione del traffico giornaliero medio. Si è adottato il criterio di assegnare ad ogni nodo il valore del TGM mediato nell'intervallo temporale di riferimento (tre o quattro anni).
- Suddivisione delle intersezioni stradali in relazione alle classi di traffico. In pratica, si è agito classificando i nodi in base al flusso giornaliero complessivamente movimentato. Le classi di traffico sono state generalmente definite ad intervalli di 5000 veicoli/giorno.
- Valutazione, con riferimento alle intersezioni ricadenti nelle possibili classi di



variazione del TGM, del valore medio (M) e della deviazione standard ( $\sigma$ ) dei tassi di incidentalità annui (A). Si ricorda che la deviazione standard è un importante parametro in grado di fornire precise indicazioni sulla dispersione dei valori che possono essere assunti da una certa variabile (nel nostro caso, tale variabile è rappresentata dal tasso di incidentalità annuo A).

- Determinazione dei seguenti parametri di riferimento:  $M+\sigma$  ed  $M-\sigma$ , i quali costituiscono i limiti, rispettivamente superiore ed inferiore, dell'intervallo rappresentativo del grado di pericolosità delle intersezioni stradali. In particolare,  $M+\sigma$  è il valore limite del tasso di incidentalità annuo, oltre il quale si può ritenere che l'intersezione in esame presenti un livello di pericolosità anomalo rispetto a quello atteso o comunque attendibile. I valori di A minori del limite inferiore ( $M-\sigma$ ) sono, invece, indicativi di situazioni in cui il tasso di incidentalità è addirittura inferiore alla soglia "fisiologica".
- Deduzione dello scarto tra i valori del tasso di incidentalità annuo associati ai nodi appartenenti a ciascuna classe di traffico ed i valori limite  $M+\sigma$  ed  $M-\sigma$ . Si è deciso, allo scopo di ottenere un modello previsionale quanto più attendibile possibile, di escludere dalle elaborazioni successive sia le intersezioni caratterizzate da valori di A superiori a  $M+\sigma$  (situazioni anomale in termini di pericolosità), sia quelle contraddistinte da un tasso di incidentalità annuo inferiore a  $M-\sigma$  (situazioni statisticamente insignificanti).

**Quarta fase:** Per ognuna delle cinque aree urbane prese in esame, è stato dedotto un modello analitico sperimentale in grado di correlare i tassi di incidentalità annui dei nodi stradali con i corrispondenti valori del traffico giornaliero medio. Alla stessa stregua del modello del TRL e di molti altri modelli previsionali analizzati all'inizio del presente contributo, la formulazione proposta si presenta nella seguente forma:

$$A = K \cdot Q_T^\alpha \quad (15)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo all'intersezione;
- $Q_T$  = flusso totale all'intersezione, in termini di TGM;
- K ed  $\alpha$  = coefficienti di regressione (costanti).

Per la definizione dei modelli previsionali in base alla (15), si sono poi adottati i seguenti criteri:

- Oltre alle intersezioni che fuoriescono dal range di significatività definito nell'analisi statistica, si sono esclusi anche gli incroci semaforizzati e quelli con più di 4 rami che, pur essendo forieri di comportamenti, da parte degli utenti, decisamente differenti rispetto alle configurazioni "canoniche", erano in numero talmente esiguo da rendere poco significativa una modellazione previsionale svolta "ad hoc".
- Anche le intersezioni aventi la connotazione di piazze (con modalità di fruizione palesemente discordanti con quelle degli altri tipi di incrocio) sono state sottratte dal novero dei dati utilizzati per la deduzione dei modelli previsionali.
- Al fine di correlare i valori del TGM con quelli del tasso di incidentalità annuo, si è eseguito un "ordinamento" dei dati in funzione dei valori crescenti del traffico giornaliero medio. Si è pertanto più volte configurata la situazione in cui a valori uguali, o molto simili, del TGM corrispondevano valori differenti del tasso di incidentalità (A). In questi casi, l'obiettivo di attribuire ad ogni valore del flusso veicolare un valore univoco del tasso di incidentalità annuo è stato

perseguito, associando, ad ogni valore del TGM, il valore medio dei corrispondenti tassi di incidentalità; nei casi in cui ad uno stesso valore del TGM trovava riscontro un numero significativo (almeno 5) di valori del parametro A, si è proceduto escludendo dal calcolo della media il valore massimo e quello minimo (se effettivamente esistenti).

**Quinta fase:** Si è ottenuto il modello previsionale globale, valutando la curva di regressione associata a tutti i dati utilizzati, durante la fase precedente, per la deduzione delle formule previsionali relative ai 5 contesti urbani analizzati. In questa fase non sono state eseguite ulteriori esclusioni di dati e l'espressione analitica del modello elaborato si presenta nella forma analoga a quella espressa dall'equazione (15).

### 3.1. Il modello previsionale per il Comune di Siracusa

**Prima fase.** L'indagine conoscitiva sulle caratteristiche di incidentalità del Comune di Siracusa è stata condotta per il quadriennio compreso tra il 1999 ed il 2002. La tabella 1 riporta i dati di incidentalità relativi alla rete stradale urbana.

	1999	2000	2001	2002
<b>Incidenti stradali con feriti o morti</b>	442	405	521	499
<b>Persone rimaste ferite</b>	658	577	782	716
<b>Persone decedute</b>	6	4	3	4
<b>Prognosi riservate</b>	13	8	7	15

**Tabella 1. Dati di incidentalità relativi alla rete stradale urbana del Comune di Siracusa**

Dall'analisi di tale tabella, si evince che:

- il numero degli incidenti si è mantenuto pressoché costante per i primi due anni, mentre si nota un incremento considerevole per i due anni successivi;
- un andamento analogo a quello degli incidenti, si può riscontrare anche per i feriti;
- il numero dei morti presenta un picco (6) nel 1999 ed un minimo (3) nel 2001.
- il numero di feriti in stato di prognosi riservata presenta un massimo (15) per l'anno 2002 ed un minimo (7) per l'anno 2001.

**Seconda fase.** Lo studio particolareggiato della distribuzione degli incidenti sulla rete urbana, ci ha consentito di trarre le seguenti conclusioni:

- nei nodi della rete si manifesta la maggior parte degli eventi sinistrosi (con una media di 290 incidenti all'anno);
- i rami della rete stradale, invece, sono sede mediamente di 180 incidenti all'anno;
- le tipologie di incidenti più frequenti sono quelle che coinvolgono gli autoveicoli e i veicoli a due ruote (ciclomotori e motocicli), seguite da quelle che interessano gli autoveicoli in moto (tamponamento, scontro frontale, scontro laterale, scontro frontale-laterale);
- gli incidenti dovuti alle interazioni tra due veicoli in marcia prevalgono nettamente sia nei confronti di quelli che coinvolgono più autoveicoli, sia rispetto ai sinistri riguardanti i veicoli isolati;
- gli incidenti in cui sono coinvolti i pedoni riguardano, in maggior numero, lo scontro con gli autoveicoli; in questi casi, gli utenti più colpiti sono le persone anziane ed i bambini.

**Terza fase.** Le analisi condotte ai punti precedenti hanno permesso di individuare i nodi ed i rami stradali caratterizzati da un elevato tasso di incidentalità.

Con particolare riferimento alle intersezioni, è stato possibile identificare e localizzare quelle che, nel quadriennio di riferimento, presentavano almeno un sinistro con danni alle persone (feriti o morti). È stata pertanto condotta l'indagine statistica su un campione di **366** intersezioni, suddivise in base a otto intervalli di variabilità del TGM con step consecutivi di 5.000 veicoli/giorno. È opportuno osservare che il numero totale di incroci scartati conseguentemente all'esito complessivo dell'indagine statistica, è pari a **81** (**51** nodi con un tasso di incidentalità annuo superiore a  $M+\sigma$ , **30** nodi con un tasso di incidentalità annuo inferiore a  $M-\sigma$ ).

La tabella 2 è una rappresentazione sintetica dei dati dedotti dall'analisi statistica.

Classe di traffico [veicoli/giorno]	Numero di nodi	Media (M) dei tassi di incidentalità	$\sigma$	$M+\sigma$	$M-\sigma$	Numero di intersezioni con $A>M+\sigma$	Numero di intersezioni con $A<M-\sigma$	Numero di intersezioni scartate
< 5000	49	0,43	0,34	0,77	0,09	4	14	18
5000 – 10000	67	0,68	0,35	1,03	0,33	15	13	28
10000 – 15000	55	0,70	0,50	1,21	0,20	12	2	14
15000 – 20000	54	0,75	0,96	1,71	-	6	0	6
20000 – 25000	62	0,77	0,91	1,68	-	5	0	5
25000 – 30000	24	1,02	1,14	2,16	-	1	1	2
30000 – 40000	36	1,13	0,99	2,12	0,14	5	0	5
> 40000	19	1,74	1,68	3,41	0,06	3	0	3
<b>Totali</b>	<b>366</b>					<b>51</b>	<b>30</b>	<b>81</b>

**Tabella 2. Rapporto sintetico sull'analisi statistica dei dati di incidentalità relativi alle intersezioni urbane del Comune di Siracusa**

**Quarta fase.** La fase conclusiva per l'ottenimento del modello previsionale è stata articolata in base alle modalità espone in precedenza. In particolare, occorre rilevare che, oltre alle 81 intersezioni scartate in virtù dell'analisi statistica, è stato necessario "eliminarne" altre **19** (7 intersezioni semaforizzate, 11 piazze, 1 incrocio poliramo).

Il modello che esprime la correlazione tra il tasso di incidentalità annuo ed il traffico giornaliero medio gravante sui nodi stradali, è stato ottenuto, pertanto, con l'ausilio dei dati inerenti a **266** intersezioni (pari al 73% di quelle originariamente prese in esame).

La curva che, sulla base dell'equazione (16), approssima la correlazione cercata è rappresentata nel diagramma di figura 1.

In definitiva, il modello previsionale dell'incidentalità alle intersezioni urbane assume le seguenti forme (in funzione dell'unità di misura del TGM):

$$A = 0,0289 \cdot Q_T^{0,3079} \quad (16)$$

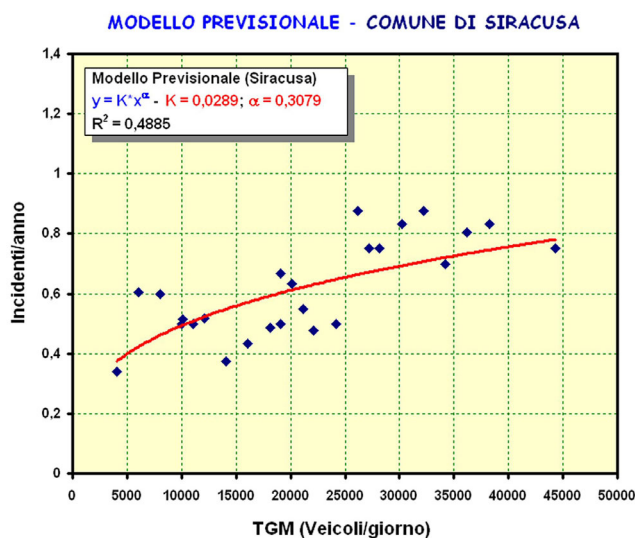
dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = traffico giornaliero medio complessivo sull'intersezione [veicoli/giorno].

$$A = 0,242 \cdot Q_T^{0,3079} \quad (17)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = TGM complessivo sull'intersezione [migliaia di veicoli/giorno].



**Figura 1. Correlazione tra tasso di incidentalità e TGM ai nodi (Comune di Siracusa)**

### 3.2. Il modello previsionale per il Comune di Caltagirone

**Prima fase.** L'intervallo temporale entro il quale è stato condotto lo studio delle caratteristiche di incidentalità stradale dell'area urbana del Comune di Caltagirone è il quadriennio compreso tra il 1998 ed il 2001. Nella tabella 3 sono riportati i dati relativi allo studio suddetto. Dall'analisi di tali dati è possibile trarre le seguenti osservazioni:

- il numero degli incidenti ha subito, negli anni, un incremento quasi costante (solo nel 2000 si è avuto lo stesso numero di sinistri dell'anno precedente);
- anche l'andamento del numero dei feriti risulta crescente di anno in anno, ricalcando sostanzialmente quello relativo agli incidenti complessivamente accaduti nella rete stradale urbana;
- il numero dei morti si attesta intorno a 2 per anno, senza picchi di rilievo.

	1998	1999	2000	2001
<b>Incidenti stradali con feriti o morti</b>	157	172	172	189
<b>Persone rimaste ferite</b>	208	231	240	258
<b>Persone decedute</b>	1	3	2	3

**Tabella 3. Dati di incidentalità relativi alla rete urbana del Comune di Caltagirone**

**Seconda fase.** L'analisi dettagliata delle circostanze e dei vari fattori connessi agli incidenti, ha permesso di dedurre le osservazioni riportate di seguito:

- negli archi della rete si verifica il maggior numero di incidenti (mediamente 100 per anno);
- nei nodi della rete, invece, si manifestano in media 65 sinistri all'anno;
- gli incidenti più frequenti sono quelli che coinvolgono i veicoli in moto (tamponamento, scontro frontale, scontro laterale, scontro frontale-laterale). Abbastanza rilevanti sono anche gli incidenti che vedono coinvolti i pedoni;
- gli incidenti predominanti avvengono, in misura quasi identica, tra autovetture private e tra veicoli privati e motocicli;
- i sinistri dovuti alle interazioni tra due veicoli in marcia si presentano in misura palesemente maggiore sia di quelli che coinvolgono più veicoli, sia di quelli riguardanti il veicolo isolato;

- riguardo alle vittime degli incidenti (feriti e/o morti), si ha che i conducenti sono, in misura pressoché doppia, maggiormente vulnerabili dei passeggeri (il dato però non tiene conto dei reali coefficienti di riempimento veicolari: spesso, infatti, i veicoli coinvolti non presentano altri passeggeri oltre al conducente).

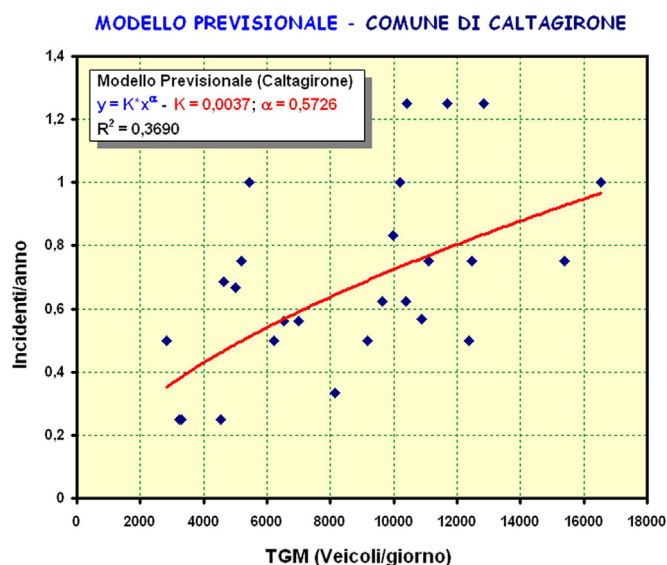
**Terza fase.** Dopo aver individuato e localizzato i nodi che, nel quadriennio di riferimento, presentavano almeno un incidente con danni alle persone, si è “innescata” la procedura per la valutazione dei parametri statistici associati ai dati a nostra disposizione. Il campione iniziale per l’indagine statistica era costituito da **77** intersezioni appartenenti alla rete urbana del Comune di Caltagirone. Tali intersezioni sono state suddivise in quattro classi di traffico: <5.000 veicoli/giorno, tra 5.000 e 10.000 veicoli/giorno, tra 10.000 e 15.000 veicoli/giorno, e >15.000 veicoli/giorno.

Osserviamo che, come si evince dalla tabella 4, il numero complessivo di incroci scartati a seguito dell’analisi statistica, è pari a **11** (**10** nodi con un tasso di incidentalità annuo superiore a  $M+\sigma$ , **1** nodo con un tasso di incidentalità annuo inferiore a  $M-\sigma$ ).

Classe di traffico [veicoli/giorno]	Numero di nodi	Media (M) dei tassi di incidentalità	$\sigma$	$M+\sigma$	$M-\sigma$	Numero di intersezioni con $A>M+\sigma$	Numero di intersezioni con $A<M-\sigma$	Numero di intersezioni scartate
< 5000	12	0,71	0,51	1,22	0,20	3	0	3
5000 – 10000	30	0,72	0,47	1,19	0,24	3	0	3
10000 – 15000	28	0,87	0,65	1,52	0,22	3	0	3
> 15000	7	1,43	1,06	2,49	0,37	1	1	2
<b>Totali</b>	<b>77</b>					<b>10</b>	<b>1</b>	<b>11</b>

**Tabella 4. Rapporto sintetico sull’analisi statistica dei dati di incidentalità relativi alle intersezioni urbane del Comune di Caltagirone**

**Quarta fase.** La fase di modellazione analitica si è basata sui dati inerenti alle **66** intersezioni, pari all’87% di quelle inizialmente selezionate, “sopravvissute” al trattamento statistico svolto al passo precedente. Occorre precisare che, all’interno del campione iniziale di nodi, c’erano anche 3 intersezioni semaforizzate e 2 piazze; tuttavia, tali incroci sono stati eliminati già alla fine dell’analisi statistica e, pertanto, non è stato necessario procedere ad un’ulteriore cernita dei dati.



**Figura 2. Correlazione tra tasso di incidentalità e TGM ai nodi (Comune di Caltagirone)**

Il diagramma di figura 2 riporta la curva di regressione che esprime la correlazione tra il tasso di incidentalità annuo ed il TGM gravante sulle intersezioni.

Il modello previsionale dell'incidentalità nei nodi stradali presenti nei contesti urbani assume, dunque, le seguenti forme (in funzione dell'unità di misura del TGM):

$$A = 0,0037 \cdot Q_T^{0,5726} \quad (18)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = traffico giornaliero medio complessivo sull'intersezione [veicoli/giorno].

$$A = 0,193 \cdot Q_T^{0,5726} \quad (19)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = TGM complessivo sull'intersezione [migliaia di veicoli/giorno].

### 3.3. Il modello previsionale per il Comune di Acireale

**Prima fase.** La caratterizzazione del livello di incidentalità associato alla rete urbana del Comune di Acireale è avvenuta tenendo conto di un intervallo di indagine pari a tre anni (dal 2000 al 2002). Il report sintetico dell'analisi condotta è contenuto nella tabella 5. Dall'osservazione di tale report, si può dedurre che:

- il numero degli incidenti presenta un picco nel 2000, per poi stabilizzarsi negli anni successivi attorno ad un valore medio pari a 70;
- il numero dei feriti è, in media, pari a 150 per anno, con un picco nel 2001;
- il numero di morti raggiunge, sempre nel 2001, il valore di 3 mentre non si registrano decessi nel 2000.

	2000	2001	2002
<b>Incidenti stradali con feriti o morti</b>	102	69	71
<b>Persone rimaste ferite</b>	141	161	143
<b>Persone decedute</b>	0	3	1

**Tabella 5. Dati di incidentalità relativi alla rete stradale urbana del Comune di Acireale**

**Seconda fase.** Tramite l'analisi di tutti i parametri che, globalmente, concorrono a definire il panorama incidentale della rete stradale urbana del Comune di Acireale, è stato possibile evidenziare alcune peculiarità fondamentali; in particolare:

- nelle intersezioni si verifica la maggior parte dei sinistri (in media 60 all'anno);
- nei tronchi della rete si rileva, invece, una media di 20 incidenti all'anno;
- il tipo di sinistro maggiormente frequente è lo scontro laterale, con una media di circa 40 incidenti all'anno;
- di particolare rilievo sono i sinistri che coinvolgono i pedoni (circa 10 all'anno);
- nella maggior parte degli casi, gli incidenti vedono il coinvolgimento delle autovetture; la seconda categoria di veicoli maggiormente implicata nei sinistri è costituita dai mezzi a due ruote; decisamente minore è il contributo all'incidentalità offerto dai mezzi pesanti e dagli autobus;
- prescindendo dagli effettivi coefficienti di riempimento (spesso il conducente è l'unica persona a bordo del veicolo) si può notare che sono i conducenti a subire prevalentemente i danni fisici a seguito del sinistro.

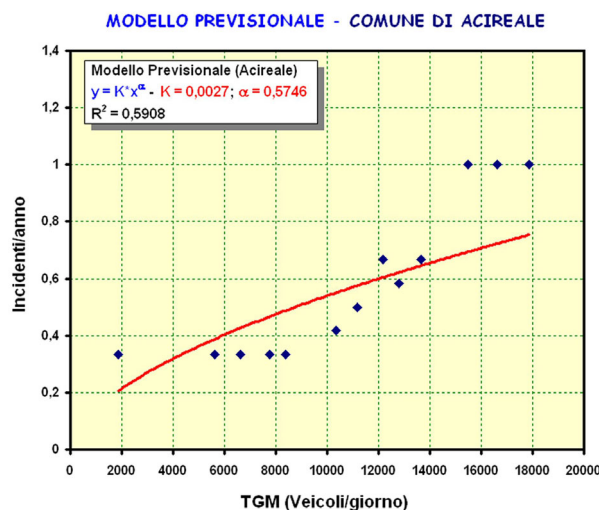
**Terza fase.** Anche per il Comune di Acireale, si è proceduto con l'identificazione e la localizzazione su cartografia digitale delle intersezioni che, nel periodo temporale d'indagine, presentavano un grado significativo di pericolosità. Il campione inizialmente selezionato per essere sottoposto all'analisi statistica era costituito da **75** nodi della rete stradale urbana. Tali intersezioni sono state suddivise in quattro classi di traffico. Per la precisione, occorre rilevare l'esistenza di un solo incrocio caratterizzato da un flusso veicolare inferiore a 5.000 veicoli/giorno; ovviamente, si è scelto di non far riferimento alla corrispondente classe di traffico. Il numero totale di nodi scartati al termine della presente fase, è pari a **28** (**20** incroci con un tasso di incidentalità annuo superiore a  $M+\sigma$ , **8** incroci con un tasso di incidentalità annuo inferiore a  $M-\sigma$ ).

Nella tabella 6 si riportano i parametri essenziali ottenuti dall'indagine statistica.

Classe di traffico [veicoli/giorno]	Numero di nodi	Media (M) dei tassi di incidentalità	$\sigma$	$M+\sigma$	$M-\sigma$	Numero di intersezioni con $A>M+\sigma$	Numero di intersezioni con $A<M-\sigma$	Numero di intersezioni scartate
5000 – 10000	20	0,44	0,16	0,60	0,28	9	0	9
10000 – 15000	32	0,65	0,37	1,19	0,28	5	0	5
15000 – 20000	13	1,14	0,38	1,02	0,76	3	6	9
> 20000	9	1,39	0,49	1,88	0,90	3	2	5
<b>Totali</b>	<b>74</b>					<b>20</b>	<b>8</b>	<b>28</b>

**Tabella 6. Rapporto sintetico sull'analisi statistica dei dati di incidentalità relativi alle intersezioni urbane del Comune di Acireale**

**Quarta fase.** Il processo di deduzione della curva di regressione ha avuto origine a partire dai dati relativi a **42** intersezioni (pari al 56% di quelle di partenza); infatti, oltre ai 28 incroci scartati al termine del trattamento statistico, ne sono stati esclusi altri 5 (2 intersezioni semaforizzate e 3 piazze).



**Figura 3. Correlazione tra tasso di incidentalità e TGM ai nodi (Comune di Acireale)**

La rappresentazione grafica del modello analitico che estrinseca il legame tra flussi veicolari e tassi di incidentalità negli incroci stradali urbani, è riportata in figura 3.

Le possibili forme analitiche del modello previsionale dell'incidentalità nelle intersezioni stradali urbane sono quelle riportate di seguito:

$$A = 0,0027 \cdot Q_T^{0,5746} \quad (20)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = traffico giornaliero medio complessivo sull'intersezione [veicoli/giorno].

$$A = 0,143 \cdot Q_T^{0,5746} \quad (21)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = TGM complessivo sull'intersezione [migliaia di veicoli/giorno].

### 3.4. Il modello previsionale per il Comune di Gravina

**Prima fase.** Il triennio compreso tra il 2000 ed il 2002 costituisce lo scenario temporale entro il quale è stata svolta l'analisi di incidentalità stradale relativa alla rete stradale urbana del Comune di Gravina di Catania. I dati essenziali di tale analisi sono riportati nella tabella 7. Da un primo esame dei dati di incidentalità, è possibile desumere alcune considerazioni; in particolare:

- il numero complessivo degli incidenti si attesta attorno ad una media di 60 all'anno ed i valori di picco si manifestano negli ultimi due anni;
- il numero di feriti si è incrementato gradualmente nel corso dei tre anni, raggiungendo un massimo di 71 nel 2002;
- si registra un unico decesso (anno 2001).

	2000	2001	2002
Incidenti stradali con feriti o morti	53	63	63
Persone rimaste ferite	60	64	71
Persone decedute	0	1	0

**Tabella 7. Dati di incidentalità relativi alla rete stradale urbana del Comune di Gravina**

**Seconda fase.** In questa fase si è prodotta una ricerca dettagliata all'interno dei dati a disposizione, al fine di meglio esplicitare le peculiarità, in termini di pericolosità, della rete stradale su cui si sta indagando. In sintesi, è possibile rilevare che:

- il maggior numero di sinistri riguarda gli incroci (mediamente 40 all'anno);
- il numero medio di incidenti sui rami della rete stradale è pari a circa la metà del valore associato ai sinistri che si manifestano ai nodi;
- la tipologia di incidente più frequente è lo scontro laterale tra i veicoli (circa 30 sinistri all'anno);
- di un certo rilievo sono i sinistri che vedono coinvolti i pedoni (circa 5 all'anno);
- le prime due categorie di veicoli coinvolte negli incidenti sono, nell'ordine, le autovetture ed i mezzi a due ruote; decisamente ridotta è la percentuale di sinistri avvenuti con il coinvolgimento di mezzi pesanti e di autobus;
- le vittime degli incidenti stradali (feriti e/o morti) sono, con una percentuale "schacciante", i conducenti dei veicoli (anche in questo caso, però, i dati non tengono conto dei reali coefficienti di riempimento veicolari).

**Terza fase.** Il lavoro svolto nelle fasi precedenti ha consentito di caratterizzare qualitativamente il grado di pericolosità offerto dai nodi e dai rami stradali della rete urbana del Comune di Gravina. Al fine di individuare il contributo specifico delle intersezioni stradali alla definizione del livello di rischio complessivo della rete, è stata avviata la procedura di trattamento statistico dei dati di incidentalità relativi ad un campione di **61** intersezioni, suddivise in cinque classi di traffico.

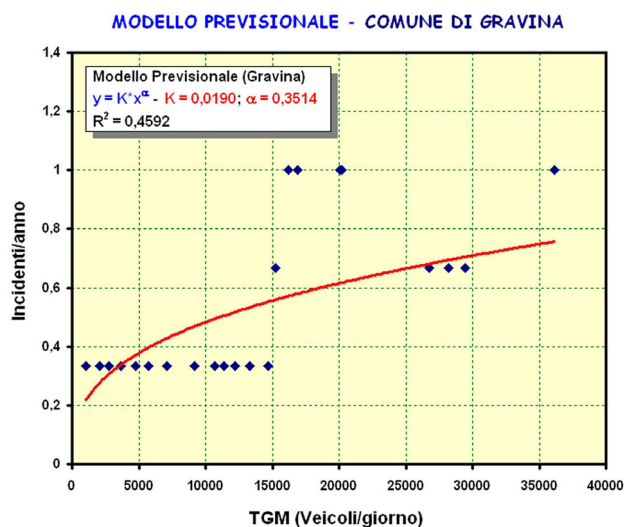


Occorre notare che, come si desume dall'analisi della tabella 8, il numero complessivo di incroci scartati a seguito del trattamento statistico, è pari a **14** (12 intersezioni con un tasso di incidentalità annuo superiore a  $M+\sigma$ , 2 intersezioni con un tasso di incidentalità annuo inferiore a  $M-\sigma$ ).

Classe di traffico [veicoli/giorno]	Numero di nodi	Media (M) dei tassi di incidentalità	$\sigma$	$M+\sigma$	$M-\sigma$	Numero di intersezioni con $A>M+\sigma$	Numero di intersezioni con $A<M-\sigma$	Numero di intersezioni scartate
< 5000	11	0,33	0,00	0,33	0,33	0	0	0
5000 – 10000	14	0,40	0,14	0,54	0,26	3	0	3
10000 – 15000	18	0,47	0,17	0,64	0,30	8	0	8
15000 – 20000	6	1,34	0,85	2,19	0,49	0	2	2
> 20000	12	1,28	1,18	2,46	0,10	1	0	1
<b>Totali</b>	<b>61</b>					<b>12</b>	<b>2</b>	<b>14</b>

**Tabella 8. Rapporto sintetico sull'analisi statistica dei dati di incidentalità relativi alle intersezioni urbane del Comune di Gravina di Catania**

**Quarta fase.** La curva di regressione è stata determinata partendo dai dati inerenti ai **47** nodi, pari al 77% di quelli di partenza, ottenuti sottraendo al numero iniziale di incroci (61) le intersezioni (14) scartate alla fine dell'indagine statistica. Occorre precisare che, altre tre intersezioni (una semaforizzata e due piazze) facevano già parte del novero di nodi eliminati a seguito del trattamento statistico dei dati, e, pertanto, non è stato necessario prevedere una cernita supplementare dei dati.



**Figura 4. Correlazione tra tasso di incidentalità e TGM ai nodi (Comune di Gravina)**

In figura 4 è graficizzata la correlazione analitica tra il tasso di incidentalità annuo ed il traffico giornaliero medio dei nodi appartenenti alla rete stradale urbana.

In funzione dell'unità di misura del TGM (veicoli al giorno, oppure, migliaia di veicoli al giorno), il modello proposto assume una delle due forme seguenti:

$$A = 0,0190 \cdot Q_T^{0,3514} \quad (22)$$

dove:

- $A$  = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = traffico giornaliero medio complessivo sull'intersezione [veicoli/giorno].

$$A = 0,215 \cdot Q_T^{0,3514} \quad (23)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = TGM complessivo sull'intersezione [migliaia di veicoli/giorno].

### 3.5. Il modello previsionale per il Comune di Misterbianco

**Prima fase.** L'analisi del panorama incidentale dell'area urbana del Comune di Misterbianco è stata svolta per il triennio compreso tra il 2000 ed il 2002. La tabella 9 costituisce una sintesi dei principali parametri esaminati (incidenti, feriti, decessi).

	2000	2001	2002
<b>Incidenti stradali con feriti o morti</b>	39	35	36
<b>Persone rimaste ferite</b>	54	53	48
<b>Persone decedute</b>	0	0	0

**Tabella 9. Dati di incidentalità relativi alla rete urbana del Comune di Misterbianco**

Dall'esame dei dati presenti nella tabella 9, si evince che:

- il numero degli incidenti è mantenuto pressoché costante per tutti e tre gli anni presi in esame, attestandosi attorno ad un valore medio pari a 37;
- un andamento analogo a quello degli incidenti si può riscontrare anche per i feriti, pur con una leggera flessione nell'ultimo anno analizzato;
- non ci sono stati casi di incidenti mortali.

**Seconda fase.** Gli elementi peculiari che è stato possibile desumere dallo studio dettagliato delle caratteristiche di incidentalità della rete stradale urbana del Comune di Misterbianco, sono da ricercarsi nei seguenti aspetti fondamentali:

- nei nodi della rete si manifesta la maggior parte degli eventi incidentali (con una media di 20 sinistri all'anno);
- sui rami della rete stradale, invece, si verificano in media 15 incidenti all'anno;
- la tipologia di incidente più frequente è lo scontro laterale, seguito dal tamponamento e dallo scontro frontale tra i veicoli;
- la tipologia di incidente più rilevante è lo scontro laterale, con una media di circa 40 incidenti all'anno; gli altri incidenti più ricorrenti sono il tamponamento, con una media di 14, e lo scontro frontale con, in media, 10 sinistri all'anno;
- nella maggior parte degli incidenti vengono coinvolte le autovetture; la seconda categoria di veicoli maggiormente implicata nei sinistri è quella dei mezzi a due ruote; estremamente ridotto è il numero di incidenti provocati dai mezzi pesanti;
- gli utenti più colpiti sono i conducenti (il dato, tuttavia, non considera che, spesso, i veicoli coinvolti non presentano altri passeggeri oltre al conducente).

**Terza fase.** L'identificazione e la localizzazione dei nodi che, nel triennio di riferimento, sono stati teatro di almeno un sinistro con danni alle persone, ha costituito il primo passo della presente fase. Il secondo passo è consistito, poi, nell'effettuazione dell'indagine statistica su un campione di **44** intersezioni, suddivise in base a quattro intervalli di variabilità del TGM. Nella tabella 10 sono contenuti i valori numerici che sintetizzano i risultati principali del trattamento statistico dei dati d'incidentalità.

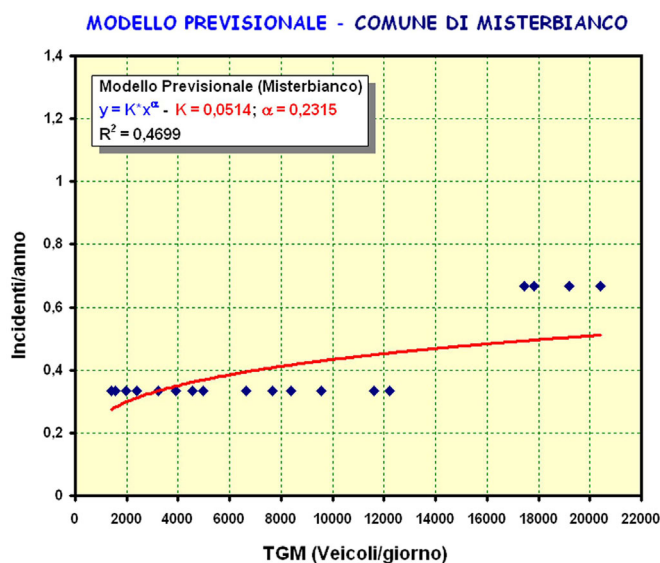
In pratica, si ha che il numero totale di incroci scartati al termine dell'analisi statistica, è pari a **11** (**10** nodi con un tasso di incidentalità annuo superiore a  $M+\sigma$ , **1** nodo con un tasso di incidentalità annuo inferiore a  $M-\sigma$ ).

Classe di traffico [veicoli/giorno]	Numero di nodi	Media (M) dei tassi di incidentalità	$\sigma$	M+ $\sigma$	M- $\sigma$	Numero di intersezioni con A>M+ $\sigma$	Numero di intersezioni con A<M- $\sigma$	Numero di intersezioni scartate
< 5000	19	0,41	0,14	0,55	0,27	4	0	4
5000 – 10000	13	0,39	0,14	0,53	0,25	3	0	3
10000 – 15000	6	0,42	0,17	0,59	0,25	2	0	2
> 15000	6	0,60	0,15	0,75	0,45	1	1	2
<b>Totali</b>	<b>44</b>					<b>10</b>	<b>1</b>	<b>11</b>

**Tabella 10. Rapporto sintetico sull'analisi statistica dei dati di incidentalità relativi alle intersezioni urbane del Comune di Misterbianco**

**Quarta fase.** Il modello previsionale e la relativa curva di regressione sono stati ottenuti dall'elaborazione dei dati di incidentalità e di traffico relativi a **33** intersezioni (le 44 di partenza meno le 11 scartate al termine della fase precedente). L'unica intersezione semaforizzata presente tra quelle di partenza, era stata già eliminata a seguito dell'esito dell'analisi statistica.

La relazione analitica che esprime la correlazione tra il tasso di incidentalità annuo ed il traffico giornaliero medio gravante sulle intersezioni della rete stradale urbana stradali, è stata ricavata, pertanto, utilizzando i dati relativi al 75% degli incroci originariamente selezionati.



**Figura 5. Correlazione tra tasso di incidentalità e TGM ai nodi (Comune di Misterbianco)**

La figura 5 mostra la curva di regressione cercata, mentre le relative formulazioni analitiche, differenziate in funzione dell'unità di misura del TGM, sono le seguenti:

$$A = 0,0514 \cdot Q_T^{0,2315} \quad (24)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = traffico giornaliero medio complessivo sull'intersezione [veicoli/giorno].

$$A = 0,254 \cdot Q_T^{0,2315} \quad (25)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = TGM complessivo sull'intersezione [migliaia di veicoli/giorno].

### 3.6. Il modello previsionale globale

La fase culminante dell'iter procedurale esposto fino a questo punto, consiste nella deduzione di una formulazione analitica, formalmente analoga a quelle ricavate per i 5 ambiti urbani analizzati ai paragrafi precedenti, ma riferita a tutti i dati nella loro globalità. In effetti, l'obiettivo dichiarato all'inizio del presente contributo era quello di giungere alla formulazione di un modello analitico di validità generale. A tal proposito, si ritiene che la deduzione di una curva di regressione associata a tutti i dati relativi ai cinque Comuni scelti per l'analisi, costituisca, proprio per le peculiarità delle aree d'indagine, una buona approssimazione della realtà globale e, quanto meno, una "fotografia" fedele del panorama stradale urbano dei comuni della Sicilia orientale.

In figura 6 è riportata la curva di regressione che descrive la correlazione globale tra i flussi complessivamente gravanti sui nodi stradali di una rete urbana ed il relativo tasso di incidentalità annuo.

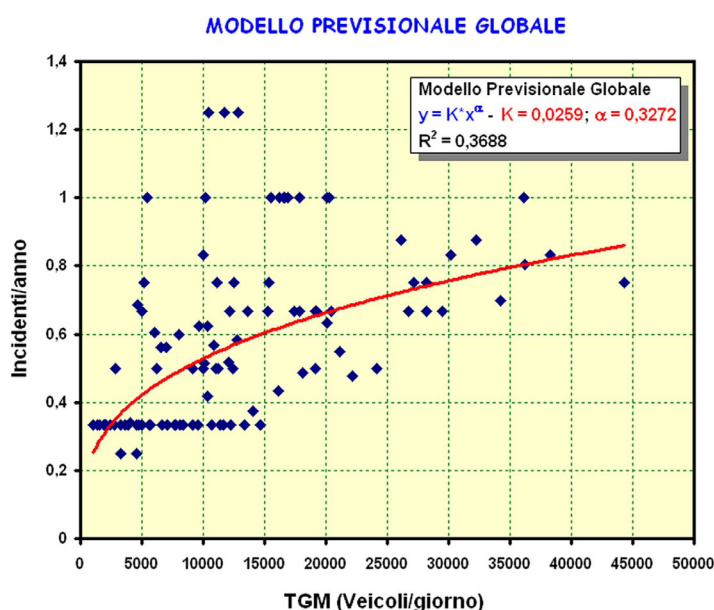


Figura 6. Correlazione tra tasso di incidentalità e TGM ai nodi (Modello Globale)

Appare utile notare, poi, come la curva di regressione, ottenuta utilizzando i dati associati a **454** intersezioni stradali urbane, presenti un fattore di determinazione,  $R^2 = 0,37$ , indicativo di un grado di correlazione ampiamente accettabile in relazione alla dispersione dei dati, ed in linea con il livello di approssimazione espresso dai modelli analoghi presenti in letteratura (in certi casi, addirittura, il valore di  $R^2$  è maggiore di quello fornito da altri modelli previsionali).

Le formulazioni relative al modello previsionale globale sono di seguito riportate:

$$A = 0,0259 \cdot Q_T^{0,3272} \quad (26)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = traffico giornaliero medio complessivo sull'intersezione [veicoli/giorno].

$$A = 0,248 \cdot Q_T^{0,3272} \quad (27)$$

dove:

- A = tasso di incidentalità annuo [incidenti/anno];
- $Q_T$  = TGM complessivo sull'intersezione [migliaia di veicoli/giorno].

#### 4. CONCLUSIONI

I modelli previsionali presenti nella letteratura internazionale forniscono una previsione annua dell'incidentalità, in corrispondenza delle intersezioni urbane, in funzione dei flussi confluenti nei nodi medesimi.

Per la realizzazione di un modello è richiesta l'acquisizione di un campione statisticamente significativo di dati. Nel nostro studio, in primo luogo, sono state elaborate delle formulazioni analitiche previsionali sulla base di un database informativo relativo alle intersezioni distribuite nelle aree urbane di cinque comuni della Sicilia orientale (Siracusa, Caltagirone, Acireale, Gravina di Catania, Misterbianco).

È stata poi dedotta una relazione analitica, di validità generale, fondata sui dati provenienti da oltre 450 intersezioni collocate nei territori presi in esame. Il modello proposto, oltre a costituire una fotografia attendibile del panorama incidentale caratteristico dei nodi urbani, può rappresentare, a nostro avviso, un utile strumento previsionale anche per quegli studi in cui si richiede la riorganizzazione viaria di una rete stradale urbana (come accade, ad esempio, per la redazione dei P.U.T.).

Si sottolinea, infine, come la formulazione ottenuta, funzione della sola variabile traffico, garantisca una stima alquanto approssimativa del tasso di incidentalità associato agli incroci stradali urbani. In tale contesto, uno degli obiettivi che il presente gruppo di ricerca intende perseguire è quello di elaborare una procedura maggiormente articolata, adeguata a mettere in conto tutti quei parametri (geometria, traffico, modalità di regolazione) necessari ad una caratterizzazione complessiva del livello di sicurezza offerto dalle intersezioni stradali urbane.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Stark D.C.* – **Relating speed to accident risk at priority junctions** – Proceedings of the 22<sup>th</sup> European transport forum – 1994
- [2] *Brude U., Hedman K., Larsson J.* – **Design of major urban junction accident prediction and empirical comparisons** – VTI EC Research 3, 1998
- [3] *Brude U., Hedman K., Larsson J., Thuresson L.* – **Design of major urban junction comprehensive report** – VTI EC Research 2, 1998
- [4] *Persaud B.N., Retting R.A., Garder P.E., Lord D.* – **Crash reductions following installation of roundabouts in the United States** – Insurance Institute for Highway Safety – March 2000 ([www.city.palo.ca.us/embarcared\\_roundabout\\_crash\\_reductions.pdf](http://www.city.palo.ca.us/embarcared_roundabout_crash_reductions.pdf))
- [5] *Vertet M., Brenac T.* – **Le rotatorie come strumento di sicurezza** ([www.unasca.it/aut-scuola/rotatorie.html](http://www.unasca.it/aut-scuola/rotatorie.html))
- [6] *Ministero dei Lavori Pubblici, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale* – Definizione dei principali temi di ricerca per il miglioramento della sicurezza delle infrastrutture nel breve, medio e lungo periodo: Scheda 20 – **Funzioni di prestazione della sicurezza in ambito urbano** – Università degli Studi di Napoli, D.I.T. – Università degli Studi di Messina, Di.C.T.A. – Napoli, 9 ottobre 2000
- [7] *McDonald J.W.* – **Relationship between number of accidents and traffic volumes at divided highway intersections** – National Research Council – Report 74 – Washington D.C. – 1966
- [8] *AA.VV.* – **Relationships between road accidents and traffic flows in an urban network** – Traffic Engineering Control – September 1992
- [9] *Silcock, Worsey* – **Relationships between accident rates road characteristics and traffic on two urban routes** – Torg Research Reports – 1992
- [10] *Brenac M.J., Connolly D.* – **The pattern of urban traffic accident: a case study** – Department of Civil Engineering National University of Ireland, – Traffic Engineering Control – June 1998
- [11] *Layfield R.E., Summersgill I., Hall R.D., Chatterjee K.* – **Accidents at urban priority crossroads and staggered junctions** – TRL Report 185 – 1996

