

---

# USO DELL'ADAPTATIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) NELLO STUDIO DELL'INCIDENTALITA' STRADALE

---

*Mellano M.*

*Dottorando – Politecnico di Bari, DVT - [m.mellano@poliba.it](mailto:m.mellano@poliba.it)*

*Grilli V.*

*Professore Associato - Politecnico di Bari, DVT - [v.grilli@poliba.it](mailto:v.grilli@poliba.it)*

## SOMMARIO

Lo studio della sicurezza degli spostamenti su gomma è molto complesso a causa delle complessità delle interazioni che si instaurano fra i quattro fattori coinvolti durante gli stessi spostamenti: uomo, veicolo, strada, ambiente.

Da anni vengono studiati modelli matematici quantitativi previsionali del fenomeno incidentale che, operando in sede consuntiva, esprimono il legame tra il fattore strada-ambiente ed il verificarsi del generico evento incidente. Tutti questi modelli si esprimono mediante rigorose formule matematiche basate sulla ormai consolidata logica binaria. Tali formule presentano il notevole vantaggio di essere di semplice applicazione, ma anche il limite di essere molto rigide e pertanto poco adattabili a contesti diversi da quello per il quale sono state ricavate. Esse inoltre non considerano in alcun modo la percezione che l'utente ha delle caratteristiche geometriche della strada su cui viaggia, nonché dell'ambiente che la circonda. Tale percezione infatti risulta più facilmente esprimibile mediante espressioni linguistiche (es. basso, medio, alto) che mediante singoli valori numerici. Nello studio di un fenomeno quale quello incidentale, in cui il principale attore è l'uomo, può risultare pertanto molto utile ricorrere ad una nuova metodologia che adoperi proprio queste espressioni linguistiche per esprimere il giudizio dell'utente.

Nella presente nota, per superare i limiti esposti degli approcci tradizionali, è stato implementato un motore di inferenza neuro-fuzzy. Basato sulla logica fuzzy esso è in grado di gestire soglie espresse mediante intervalli, numeri approssimati, o giudizi verbali, utilizzando le stesse per la previsione degli incidenti sulle curve di un tracciato stradale.

Il modello che ne è risultato, di validità generale, è stato testato sulla SS16 "Adriatica" limitatamente al tronco ricompreso nella Provincia di Bari, il quale assume, in corrispondenza dei nove comuni serviti, la funzione di asse viario tangenziale per l'accesso all' area urbana.

Lo stesso modello è stato successivamente utilizzato per l'esecuzione di tests di significatività, mediante i quali è stato possibile valutare l'influenza che hanno le singole variabili elementari nella determinazione dell'evento incidentale.

*Parole chiave: Insiemi fuzzy, Reti neurali, Modelli di previsione di Incidentalità*

## **ABSTRACT**

Road safety's study is very complex, due to interactions among the four elements involved during trip: man, vehicle, road, environment.

Since many years researchers have been studying models to predict road accidents. Those models make use of rigid mathematical formulas based on classical binary logic. Although mathematical formulas are usually easy to use, they are very strict. For this reason mathematical formulas are not very adaptable to situations that differ from those where they were built. Moreover those formulas do not take into consideration the user perception about road geometrical characteristic and surrounding environment. The user perception is easier to express through ranges and/or linguistic expressions (eg. Low, Medium, High) rather than through crisp values. For these reasons we prefer using another technique, that uses linguistic expressions, to study road accidents.

To overcome limits of traditional approaches, in this paper we have implemented a neuro-fuzzy inference system engine. It makes use of fuzzy logic and therefore is able to manage thresholds expressed through range and linguistic expressions, and predict the number of road accident in curves. The proposed model has been used to make significance tests through which the influence of each variable on road accident has been valued.

The model has been tested with data about a freeway in the south-east of Italy (E55), in the Apulia Region, which functions, in the considered section, as a ring road for the nine towns placed along the route.

*Key words: Fuzzy Sets, Neural Networks, Road accidents predicting models*

## 1. INTRODUZIONE

Il sistema di trasporto stradale è un sistema complesso, costituito dal quadrinomio uomo-veicolo-strada-ambiente. Ciascuno dei suoi componenti è, a sua volta, un sistema complesso, così come complesse sono le correlazioni che di fra di essi si instaurano.

A differenza del caso ferroviario il conducente un autoveicolo non possiede una tabella di marcia che gli indichi il comportamento da mantenere lungo i diversi elementi del tracciato, ma deve ricevere tali informazioni durante la percorrenza dello stesso. Ciò può avvenire in due maniere differenti: diretta tramite la segnaletica; indiretta mediante la configurazione del tracciato (“messaggi” legati alla visibilità e stabilità del veicolo). E’ ampiamente documentato come la prima soluzione risulti spesso inefficace (Canale, Nicosia, 2000; Garber, Gadiraju, 1992), probabilmente perché nel guidatore subentrano, durante la marcia, dei “meccanismi” che lo inducono a tenere una condotta di guida fortemente condizionata dall’esperienza individuale, sia di lungo termine (maturata durante l’intera attività di guida) che di breve termine (maturata percorrendo le tratte immediatamente precedenti) (Canale, Leopardi, Fabiano, 1998). Conseguentemente, fondamentale importanza riveste la conformazione geometrica del tracciato nel trasferimento indiretto delle suddette informazioni al guidatore.

Volendo descrivere il modello comportamentale di guida, esso prevede che il conducente riceva le informazioni necessarie alla propria condotta dall’ambiente stradale (piattaforma, situazioni ai margini, segnaletica, presenza e condotta di altri utenti) e non (illuminazioni, condizioni meteorologiche, paesaggio circostante, insediamenti). Successivamente tali informazioni vengono elaborate dando luogo ad un comportamento conseguente (traiettoria, livello di attenzione, velocità), attuato mediante comandi al veicolo, anch’esso in rapporto d’interazione con l’infrastruttura.

La degradazione del sistema è all’origine degli incidenti, e può riguardare una qualunque fase di questo modello: quella della raccolta dell’informazione (*difetto di visibilità*), quella del trattamento e dell’interpretazione (*difetto di leggibilità*), quella dell’azione intrapresa (*manovra azzardata o errata*), quella della risposta del veicolo (*anomalia di funzionamento*), quella dell’interazione veicolo-infrastruttura (es. *perdita di aderenza*), ecc (Giuffrè, 1997).

In realtà analisi più accurate hanno evidenziato come spesso il comportamento e l’errore umano siano da interpretare come un sintomo di una relazione “patologica” uomo-ambiente più che una causa. Proprio tale relazione sarebbe spesso il vero fattore che favorisce il comportamento pericoloso degli utenti e che quindi aumenta il rischio di incidentalità. Diversi studi attribuiscono pertanto alla strada da sola, o all’interazione strada-utente, percentuali differenti di responsabilità nella genesi degli incidenti stradali (Turner, Colon, 1998; OCSE, 1986; AA.VV. 1995).

Data la complessità del problema, si rischia spesso di adoperare strumenti di valutazione non del tutto adeguati che fanno uso di limitati parametri ai quali attribuiscono le responsabilità dei sinistri.

Il presente studio propone un nuovo tipo di modello, implementabile in funzione dei dati a disposizione, il quale consente, oltre che di effettuare previsioni di incidentalità, anche di valutare l’influenza che ha il singolo parametro nella genesi di un sinistro.

Lo stesso modello, fa uso di insiemi fuzzy i quali, poiché esprimibili mediante intervalli, numeri approssimati, o giudizi verbali, simulano più facilmente la percezione degli utenti.

## 2. BREVE INTRODUZIONE ALLA FUZZY THEORY

La Fuzzy Sets Theory fu introdotta da Zadeh nel 1965 come metodo atto a tradurre in termini matematici l'incertezza dei giudizi umani espressi mediante espressioni linguistiche. Da un punto di vista matematico un insieme fuzzy è un'estensione di un insieme classico. Se  $U$  è l'universo del discorso, un insieme fuzzy  $A$  è definito in  $U$  come un insieme di coppie ordinate  $A = (x, \mu(x))$  in cui  $x \in U$ , e  $\mu_A(x): U \rightarrow [0, 1]$ . La funzione  $\mu_A(x)$  è chiamata "Membership Function" (MF) di  $x$  in  $A$ . Tale funzione lega il generico elemento  $x=a$  di  $U$  ad un valore  $\mu_A(x=a)$  compreso tra 0 ed 1, detto "grado di appartenenza" di  $x=a$  alla MF.

Gli insiemi fuzzy sono utili per rappresentare espressioni imprecise quali quelle linguistiche. Più il valore  $\mu(x)$  si approssima ad 1, e più l'espressione è vera. Tali funzioni possono avere svariate forme. Nel presente studio si è fatto uso della forma trapezoidale (vedere ad es. la Figura 1 nel par. 5.2) per rappresentare i giudizi "Basso", "Medio", "Alto" dei diversi parametri considerati.

### 2.1. Fuzzy Inference System

Per calcolare il giudizio finale (output – costituito nel nostro caso dalla previsione del numero di incidenti), conseguenza dei valori assunti dai singoli parametri di input per i quali si sono già costruite le MFs, la Fuzzy Sets Theory fa uso del Fuzzy Inference System (FIS). Esso consiste in un insieme di regole fuzzy valutate mediante gli operatori logici AND/OR tramite i quali il vettore di input (costituito dai valori dei singoli parametri presi in esame) viene connesso con il fuzzy output. La defuzzificazione di quest'ultimo, eseguita mediante specifiche procedure, fornisce l'output numerico semplice (Mamdani, Assilian 1975; Sugeno 1985).

## 3. MODELLI DI PREVISIONE DELL'INCIDENTALITA' STRADALE: STATO DELL'ARTE

Nel campo della ricerca stradale sono molto numerosi i modelli matematici previsionali di incidentalità, che propongono correlazioni tra "causa" (fattore strada-ambiente) ed "effetto" (verificarsi dell'incidente) (Kalakota, Seneviratne 1994). I principali elementi rappresentativi del fattore strada-ambiente presi in considerazione per la costruzione di tali modelli sono rappresentati da:

- caratteristiche plano-altimetriche dell'asse stradale;
- sezione trasversale;
- ambiente;
- intersezioni/accessi;
- tipologia della strada in esame;
- segnaletica.

E' stato già dimostrato come, per questi modelli, la variazione delle sole condizioni al contorno, quali ad esempio l'ambito geografico di riferimento od il periodo di osservazione, produca una variazione dell'interazione analitica tra le diverse variabili (*Praticò, 2003*). Ciò è conseguenza del fatto che il dato statistico sull'incidentalità, somma di singoli eventi incidentali, è ascrivibile ad un "atteggiamento comune" (*Ordine degli psicologi del Lazio, 2005*), conseguenza di una "cultura comune" individuabile solo in un ambito territoriale non eccessivamente esteso. Questo limite dei modelli tradizionali (*Tarko A., 2006*) può essere superato con il modello proposto mediante una facile taratura dello stesso alla realtà oggetto di indagine.

#### 4. IL MODELLO PROPOSTO

Il modello previsionale di incidentalità in curva proposto si basa su un Adaptive Neural Network-based Fuzzy Inference System (ANFIS) (*Zimmermann 1991; Jang. 1993*). Per la singola strada, o rete di strade aventi la stessa sezione tipo, usando l'algoritmo ANFIS proposto, è possibile calibrare le MFs del FIS, addestrando la Rete Neurale Artificiale. Per fare questo si costruisce la matrice degli input  $I_{n \times m}$ , (in cui  $n$  = numero di curve che compongono il tracciato,  $m$  = numero dei parametri scelti come rappresentativi del fenomeno incidentale) necessaria per la fase di addestramento della rete. Più precisamente, per ciascuna curva del tracciato, i parametri di input sono: la media, nel periodo temporale considerato, dei flussi di traffico giornaliero medio annuo (V); lo sviluppo della curva (L); la curvatura corrispondente ( $C=L/R$ , con  $R$ =raggio di curvatura dell'elemento); il numero di intersezioni in curva (N); la media degli incidenti occorsi nel periodo temporale considerato (I); ed infine un parametro (M) esprime la memoria di breve termine che verrà esplicitato nel seguito.

Come output, il FIS fornisce una stima del numero annuo di incidenti attesi su ciascun tronco.

L'algoritmo ANFIS è specificato nel seguito:

- Step 0 inizializzazione:  $i = 0$ ;
- Step 1 scelta del numero e tipo di MFs;
- Step 2 scelta del numero delle epoche di addestramento e del corrispondente errore di tolleranza;
- Step 3  $i = i + 1$ ;
- Step 4 caricamento del minore  $M_{i \times n}$  della matrice degli inputs  $I_{n \times m}$  costituito dalle prime  $i$  righe di  $I_{n \times m}$  per l'addestramento dell'ANFIS;
- Step 5 addestramento della rete neurale;
- Step 6 caricamento del minore  $M_{i \times m}$  della matrice degli  $I_{n \times m}$  per la verifica dell'ANFIS
- Step 7 ottenimento della stima del numero di incidenti  $a_i$  sulla curva  $i$ ;
- Step 8 se  $i < n$  si ritorna allo Step 4;
- Step 9 ottenimento del numero stimato di incidenti (vettore  $\mathbf{a}$ ).

## 5. ESEMPIO NUMERICO

L' algoritmo proposto è stato testato per la Strada Statale n°16 "Adriatica" limitatamente alla porzione ricompresa nella Provincia di Bari. Essa presenta due tronchi a due corsie per senso di marcia lunghi complessivamente 109 km circa, intervallati da un altro tronco a tre corsie per senso di marcia, lungo 14 km circa. Quest'ultimo assolve la funzione di tangenziale urbana della città di Bari, funzione peraltro assunta anche dai primi due in corrispondenza di ciascuno degli altri otto comuni serviti nello sviluppo preso in esame.

Nel presente studio solo tali tronchi a due corsie per senso di marcia sono stati presi in considerazione. Essi presentano una sezione di tipo III CNR del bollettino n.78/1980, (corsie da 3,5 m ciascuna, banchina da 1,75 m, intervallo di velocità di progetto di 80-100 km/h), barriera metallica a doppia onda in destra e spartitraffico New Jersey in sinistra.

Complessivamente il tracciato esaminato risulta composto da 55 archi, alternati ad altrettanti rettifili. Non sono presenti curve di transizione.

### 5.1. I Dati Utilizzati

Per i dati di incidentalità si è fatto ricorso alle statistiche ISTAT, relative al periodo temporale compreso tra il 1997 ed 2002. Nessun intervento infrastrutturale ha interessato la strada in esame durante tale periodo.

I suddetti dati, pur riportando la progressiva chilometrica presso la quale è avvenuto il singolo incidente, risultano privi dell'indicazione relative al senso di marcia.

A causa di tale carenza, non è stato possibile inserire in input il dato relativo alla curvatura o lunghezza dell'arco che precede quello presso il quale si è registrato l'incidente. Si è comunque deciso di far uso di un parametro che esprimesse l'esperienza di breve termine, optando per la "media dei valori delle curvature relative ai due archi fra i quali quello in esame è ricompreso". La scelta è scaturita dalla constatazione che tale valore, benché "sporco", è comunque in grado di rappresentare almeno le variazioni più accentuate del tracciato. Anticipiamo che il dato così assunto è risultato sufficiente per dimostrare l'esistenza di una correlazione tra l'aspettativa dell'utente, generatasi percorrendo il tracciato, ed il verificarsi di un incidente.

Per i flussi di traffico si disponeva invece di dati relativi agli anni 2007 e 1990. I primi fanno parte di una campagna di rilievi compiuti dalla Regione Puglia, dalla Provincia di Bari e dall'ANAS, e fornivano detti flussi sui 15 tronchi omogenei per volumi di traffico in cui è suddivisibile il tracciato in esame; i secondi fanno parte della campagna di rilievi compiuti dall'ANAS, e fornivano i flussi solo su 7 dei 15 tronchi. In questo secondo caso i dati sui tronchi mancanti sono stati ricavati ipotizzando una variazione di flusso veicolare proporzionale al numero di intersezioni presenti lungo ciascun tronco, ipotesi molto vicina alla realtà. I dati relativi agli anni mancanti sono stati invece ricavati per interpolazione, ipotizzando una variazione annua costante. Eventuali errori di approssimazione e/o valutazione relativi ai dati di traffico, non inficiano l'attendibilità dei risultati forniti dal modello, poiché esso, operando mediante insiemi fuzzy, fa uso di intervalli di valori anziché valori singoli, riassorbendo di fatto tali errori.

Data l'ampia variabilità dei valori relativi ai dati di input, gli stessi sono stati normalizzati, al fine di agevolare l'operazione di addestramento della rete neurale. Ciò lo si è fatto dividendo ogni singolo elemento di ciascuna colonna della matrice  $I_{n \times m}$ , per il valore massimo presente nella stessa colonna. Tale operazione non si è resa necessaria per i dati relativi alle curvature ed alla memoria di breve termine (espressi in  $\text{dam}^{-1}$ ).

## 5.2. I Risultati

Al fine di valutare l'influenza del singolo parametro nella genesi di un incidente stradale, l'algoritmo proposto è stato impiegato per la costruzione di cinque modelli differenti per numero o tipologia di input. Si è passati infatti dai primi due modelli elementari nei quali si sono considerati due soli input (V e C per il primo, V e S per il secondo); al terzo in cui gli input sono tre (V, C, S); al quarto in cui divengono quattro (V, C, S, N); ed in fine al quinto in cui gli input sono cinque (V, C, S, N, M) (Tabella 1).

Modello N°	Volume di traffico (V)	Curvatura (C)	Sviluppo (S)	N° di intersezioni (N)	Memoria di breve termine (M)
I	X	X			
II	X		X		
III	X	X	X		
IV	X	X	X	X	
V	X	X	X	X	X

**Tabella 1 Modelli di previsione dell'incidentalità**

In Tabella 2 si riporta una stralcio del database di input utilizzato per il modello V. Per gli altri modelli il database di input conserva gli stessi valori di Tabella 2, ma ricomprende ovviamente le sole colonne di interesse (contrassegnate con una "X" in Tabella 1).

L'output del modello fornisce la frequenza incidentale media annua attesa. I risultati sono stati ottenuti come singleton (vaori singoli) mediante il metodo di inferenza fuzzy di tipo Sugeno (*Sugeno, 1985*).

Per ciascuna delle cinque serie di input l'algoritmo ANFIS è stato eseguito scegliendo la forma trapezoidale per le MFs, ed un numero pari a tre per i ranges (Basso, Medio, Alto). Le stesse sono state calcolate mediante la fase di addestramento dell'ANFIS, fissando un numero di epoche opportunamente scelte (da 10 a 50 a seconda del modello).

In Figura 1 viene riportata, a titolo di esempio, la rappresentazione delle MFs relative all'input "Volume di traffico" ottenute per il modello V.

La tabella 3 riporta invece i valori numerici relativi a tali MFs per lo stesso modello.

ID Arco	Volume di traffico (V)	Curvatura (C)	Sviluppo (L)	N° di intersezioni (N)	Memoria di breve termine (M)	Frequenza media annua incidenti registrati (I)
1	0.21	0.05	0.57	1	0.10	0.08
2	0.21	0.10	0.23	1	0.08	0.08
3	0.39	0.10	0.33	0	0.10	0.00
4	0.39	0.10	0.49	0	0.13	0.00
5	0.39	0.17	0.17	0.5	0.10	0.04
6	0.45	0.10	0.25	0	0.11	0.08
7	0.45	0.06	0.19	0	0.11	0.23
...	...	...	...	...	...	...

Tabella 2 Stralcio del database di input relativo all’analisi/modello V

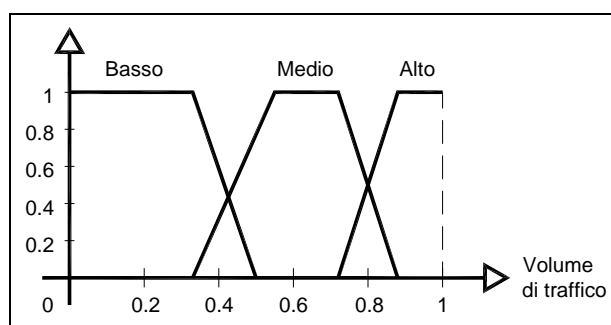


Figura 1 MFs relative al parametro “Volume di Traffico” per il modello V

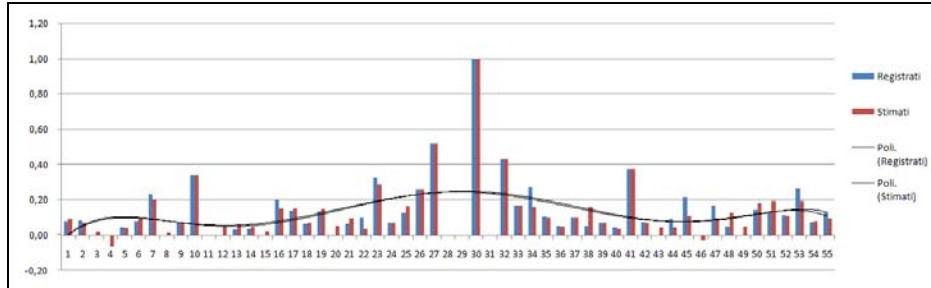
	Volume di traffico	Curvatura	Sviluppo	N° di intersezioni	Memoria di breve termine
<b>Basso</b>	[0, 0.09, 0.33, 0.50]	[0, 0, 0.14, 0.27]	[0, 0, 0.23, 0.40]	[0, 0, 0.15, 0.35]	[0, 0, 0.10, 0.20]
<b>Medio</b>	[0.33, 0.55, 0.72, 0.88]	[0.14, 0.27, 0.45, 0.58]	[0.21, 0.41, 0.68, 0.85]	[0.15, 0.35, 0.65, 0.85]	[0.10, 0.20, 0.36, 0.46]
<b>Alto</b>	[0.72, 0.88, 1, 1]	[0.45, 0.58, 0.76, 0.89]	[0.68, 0.86, 1, 1]	[0.65, 0.85, 1, 1]	[0.36, 0.46, 0.61, 0.71]

Tabella 3 Membership Functions (MF) relative al modello V

Ricavato, sempre attraverso l’algoritmo ANFIS, il FIS, lo stesso è stato utilizzato per eseguire un’analisi di significatività, finalizzata a valutare l’influenza che hanno i singoli parametri considerati nella genesi di un incidente.

Per l’esecuzione di tale analisi, sono stati editati, in input nel FIS, i valori relativi sia ai parametri geometrici che di traffico di ciascuna curva, ottenendo in output la previsione sulla frequenza incidentale media annua in corrispondenza della stessa. La figura 2 mostra la comparazione grafica tra i valori registrati e quelli stimati con il modello V, per ciascuna delle 55 curve che compongono il tracciato.





**Figura 2** Comparazione tra incidenti registrati ed incidenti previsti con il modello V. Le due curve esprimono le linee di tendenza (polinomiali del sesto ordine)

La comparazione analitica è stata invece eseguita adoperando il coefficiente di determinazione  $R^2$ . I risultati sono riassunti nell'ultima riga della Tabella 4.

ID	Incidenti Registrati	Incidenti Stimati dai Modelli				
		I	II	III	IV	V
1	0,08	0,05	0,04	0,02	0,08	0,09
2	0,08	0,05	0,04	0,11	0,08	0,07
3	0,00	0,07	0,04	0,06	0,06	0,02
4	0,00	0,07	0,04	0,04	0,00	0,00
5	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
6	0,08	0,09	0,10	0,07	0,12	0,09
7	0,23	0,09	0,09	0,07	0,14	0,20
8	0,00	0,09	0,10	0,07	0,02	0,01
9	0,07	0,10	0,08	0,06	0,01	0,07
10	0,34	0,34	0,10	0,34	0,34	0,34
11	0,00	0,10	0,10	0,06	0,05	0,00
12	0,00	0,10	0,10	0,10	0,09	0,06
13	0,03	0,10	0,10	0,11	0,08	0,06
14	0,03	0,10	0,11	0,12	0,07	0,05
15	0,00	0,10	0,11	0,12	0,07	0,02
16	0,20	0,10	0,10	0,11	0,19	0,15
17	0,14	0,10	0,10	0,11	0,18	0,15
18	0,07	0,10	0,08	0,05	0,05	0,07
19	0,13	0,10	0,10	0,10	0,16	0,15
20	0,00	0,10	0,11	0,12	0,07	0,05
21	0,06	0,10	0,17	0,16	0,14	0,10
...	...	...	...	...	...	...
$R^2$		<b>0,15</b>	<b>0,34</b>	<b>0,76</b>	<b>0,84</b>	<b>0,94</b>

**Tabella 4** Stralcio dei risultati di previsione forniti dai modelli sviluppati e comparazione con i dati reali

Essi mostrano chiaramente come lo sviluppo di una curva (modello II) abbia un peso quasi doppio rispetto al valore della sua curvatura (modello I) nella genesi di un incidente stradale. Se considerati entrambi invece, essi risultano concausa all'origine di oltre i 3/4 degli incidenti (modello III). Il valore cresce ancora se si dettaglia ulteriormente il modello introducendo anche il dato inerente il numero di intersezioni presenti nella curva (modello IV). Infine, se si prende in considerazione anche il parametro "memoria di breve termine", l' $R^2$  sale a 0.94 (modello V). Riguardo quest'ultimo dato, appare opportuno rammentare che lo stesso risulta "inquinato", dalla carenza dell'informazione circa il verso di marcia delle autovetture. E' ragionevole presumere che, qualora essa fosse disponibile, sostituendo la media delle curvature relative agli archi fra i quali risulta compreso quello in corrispondenza del quale si è registrato l'incidente, con il valore della curvatura che precede lo stesso arco, l'attendibilità del modello crescerebbe ulteriormente.

L'alto valore ottenuto per  $R^2$ , peraltro incrementabile come appena specificato, potrebbe suscitare alcune perplessità. Risulta esiguo infatti il residuo ( $1-0.94=0.6$ ) di incidenti non prevedibili con il modello proposto, e pertanto attribuibili a cause diverse dalla geometria del tracciato, prima tra tutte l'utente. Una possibile giustificazione è rappresentata dall'eventualità che le responsabilità dell'utente vengano in un qualche modo mascherate dalla strada o, in altri termini, l'utente esalti le difettosità del tracciato. Per essere più espliciti è ragionevole presumere che un utente che abbia i riflessi rallentati, ad esempio a seguito di uno stato di ebbrezza o in conseguenza dell'età avanzata, percorrendo un tracciato, incontri maggiori difficoltà laddove lo stesso presenta delle anomalie.

## 6. CONCLUSIONI

In letteratura sono presenti molteplici modelli matematici quantitativi previsionali del fenomeno incidentale, i quali esprimono la relazione tra il fattore strada-ambiente ed il numero di incidenti.

Tutti questi modelli fanno uso di rigorose formule matematiche basate sulla logica binaria, e presentano limiti di adattabilità a contesti differenti da quelli per i quali sono stati studiati.

La metodologia proposta utilizza invece la tecnica fuzzy. Essa, pur richiedendo un ampio numero di dati per la taratura del modello, risulta però più elastica, consentendo di superare i limiti suddetti. La stessa presenta inoltre l'ulteriore vantaggio di consentire la valutazione del peso che ciascuno dei parametri scelti per la costruzione del modello di previsione assume nella genesi degli incidenti stradali; peso che può variare in funzione della tipologia di strada, o della geografia di riferimento.

La tecnica illustrata è stata testata mediante la costruzione di cinque modelli di previsione incidentale relativi alla Strada Statale n°16 "Adriatica", limitatamente al tronco ricompreso nella Provincia di Bari. L'attendibilità di ciascuno di essi è stata testata mediante il coefficiente di determinazione  $R^2$ , che ha dimostrato un'elevata capacità predittiva del modello V.

Ulteriori sviluppi, prevedono l'implementazione di quest'ultimo modello mediante l'introduzione di informazioni sull'utente e sulle velocità di marcia.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1995) - *Road Safety & Infrastructure*, Introduction - XX World Road Congress AIPCR.
- Canale S., Leopardi S., Fabiano C. (1998) - *L'analisi del rischio a supporto degli strumenti per l'adeguamento funzionale delle infrastrutture viarie* – VIII Convegno Nazionale S.I.I.V.
- Canale S., Nicosia F. (2000) - *I limiti di velocità come strumento non efficace per la gestione della sicurezza della strada* – X Convegno Nazionale S.I.I.V.
- CNR (1980) – Bollettino n. 78.
- Garber N.J., Gadiraju R. (1992) - *Impact of Differential Speed Limits on the Speed of Traffic and the Rate of Accidents* - Transportation Research Record 1375, p. 53+
- Giuffrè O. (1997) - *Problematiche applicative della normativa tecnica in sede di progettazione, costruzione e manutenzione* – VII Convegno Nazionale S.I.I.V.
- ISTAT-ACI (1997-2002) - Statistiche di incidentalità.
- Jang, J. (1993) - *ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems*. - IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Vol. 23. No. 3. pp. 665-685.
- Kalakota K.R., Seneviratne P.N. (1994) - *Accident prediction models for two-lane rural highways* - North Dakota State University, Publications.
- Mamdani E.H., Assilian S. (1975) - *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller* - International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13.
- OCSE (1986) - *Sintesi dei risultati di ricerche sulla sicurezza stradale*.
- Praticò F.G. (2003) - *Modelli quantitativi per le previsioni di incidentalità* – XIII Convegno Nazionale S.I.I.V.
- Ordine degli psicologi del Lazio (2005) - *Psicologia viaria. Gli interventi dello psicologo per ottimizzare il rapporto uomo-veicolo-strada*. - Franco Angeli.
- Sugeno M. (1985) - *Industrial applications of fuzzy control* - Elsevier Science Pub. Co.
- Tarko A. (2006) - *Calibration of safety prediction models for planning transportation networks*. - TRB 2006 Annual Meeting.
- Turner D.S., Colson C.W. (1998) - *Accident data as a tool for Highway Risk Management* – TRR 1172, p. 11-22.
- Zadeh, L.A. (1965) - . Fuzzy sets. Information and Control - Vol.8, pp. 338-353.
- Zimmermann H. J. (1991) - *Fuzzy set theory and its applications* - Kluwer Academic Publisher, Dordrecht,

**RINGRAZIAMENTI**

Si ringraziano il Compartimento Anas di Bari, l'Ufficio Urbanistico della Regione Puglia e la Provincia di Bari per i dati forniti a supporto della presente ricerca.