



**UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI  
PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA  
STRADALE**

**Gianluca Dell'acqua**

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "Luigi Tocchetti"- Università degli Studi di Napoli "Federico II" Via Claudio 21 80125 Napoli Italy – Tel.+39.081.7683372  
E-mail: gdellacq@unina.it

**Mario De Luca**

Dipartimento di Pianificazione Territoriale - Università degli Studi della Calabria via Pietro Bucci 87036 Arcavacata di Rende – Rende Cosenza Italy – Tel-+39.0984.471773 e-mail : ing.deluca@tiscalinet.it

**Rodolfo Grossi**

Dipartimento di Pianificazione Territoriale - Università degli Studi della Calabria via Pietro Bucci 87036 Arcavacata di Rende – Rende Cosenza Italy – Tel-+39.0984.471773 e-mail : dipiter@unical.it

## **UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA STRADALE**

**GIANLUCA DELL'ACQUA** - Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "Luigi Tocchetti" Università degli studi di Napoli

**MARIO DE LUCA** - Dipartimento di Pianificazione Territoriale - Università della Calabria

**RODOLFO GROSSI** - Dipartimento di Pianificazione Territoriale – Università della Calabria

### **SOMMARIO**

Lo studio è la prosecuzione del lavoro già presentato alla seconda conferenza nazionale su "informazione e pianificazione urbana e territoriale", Input 2001, isole Tremiti Giugno 2001. Il lavoro riguarda l'organizzazione di un sistema di supporto alle decisioni finalizzato alla gestione della sicurezza stradale, articolato in due parti: un archivio costituito da quattro sezioni contenenti dati di geometria, traffico, incidenti e condizioni ambientali e da un insieme di programmi di analisi sull'incidentalità.

Nello studio sono continuate le operazioni di organizzazione e di alimentazione del modello con dati relativi ad una rete stradale ricadente nella provincia di Cosenza. Inoltre, attraverso l'impiego della "cluster analysis" è stata condotta un'indagine su circa 1000 incidenti verificatisi in due rami della rete, un tronco autostradale A3 ed un tratto di strada statale.

Sono emerse, delle importanti indicazioni sulla natura degli interventi necessari per il miglioramento della sicurezza stradale delle due arterie e si sono avute le prime indicazioni sulla capacità del modello a supportare delle analisi estese ad una rete stradale.

Sono inoltre emerse alcune importanti conferme circa la dipendenza dell'indice di incidentalità da alcune grandezze geometriche ed ambientali che definiscono lo scenario di incidente. I molti casi si è inoltre verificata una prevalenza di utenti non abituali tra quelli che sono coinvolti in incidenti.

### **ABSTRACT**

The Study continuation of a work already presented in second national conference on "information technology and spatial planning, Input 2001, in Isole Tremiti June 2001. The work regards the decision support system's organization, purposed to road's safety management and it's developed in two part: archives formed of four section that contain geometrical, traffic, accidents data and environmental condition and some analysis programme on incidentality.

In this work we have continued the model's organization and feed operation with data referred to a net road that develops in the province of Cosenza.

Moreover, using the cluster analysis we have conducted an inquiry 1000 accident happened on two net roads links, one belongs to highway A3 and the other belongs highway SS107. It's stand out important suggestion on the choices nature necessary for the road safety improvement, and the first indication on the model capacity to support analysis, widespread to net road. Besides, it's stand out some important confirmations about the dependence of accident's rate from some size geometrical, environmental which define the accident's scenarios. In many case happened a prevalence of not habitual user those involved in accident.

## **1. PREMESSA**

Un sistema di supporto alle decisioni (DSS), finalizzato ad un particolare obiettivo come la sicurezza stradale, prima di divenire efficiente necessita di svariate operazioni di controllo.

Queste operazioni, consistono nell'impiego di tecniche di analisi ed algoritmi utili per il trattamento delle informazioni archiviate. Il controllo si considera di esito positivo se al termine di un'operazione si riescono ad individuare le situazioni ad alto rischio di incidente e le grandezze geometriche ed ambientali che le caratterizzano.

In questo studio si sono condotte svariate operazioni di questo tipo e, mediante l'impiego dell'algoritmo Hard c-means ed alcune tecniche statistiche, si sono ottenuti dei buoni risultati relativamente al modello di archivio proposto e quindi allo stato attuale del sistema di supporto alle decisioni.

## **2. SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI**

### **2.1 Descrizione del sistema**

Il DSS, che rappresenta l'evoluzione del modello di archivio, è un sistema mediante il quale, utilizzando i dati archiviati è possibile avere delle indicazioni indispensabili per decidere sulla natura ed entità degli interventi da fare in una rete stradale per migliorare la sicurezza della circolazione.

In particolare tale sistema, la cui idea di base segue nella parte relativa all'archiviazione, per quanto è possibile, le indicazioni derivanti dal Codice della strada (articoli 225 e 401 del R.A.), si è sviluppato attraverso specifiche esperienze sull'incidentalità condotte negli ultimi anni presso l'Università degli Studi della Calabria con riferimento ad alcuni tratti dell'A3 (Autostrada SA-RC) e della SS 107 (Tratto Paola-Cosenza) a cui si va aggiungendo un tratto della SS.18.

In base a tale esperienze, il modello originario si è evoluto divenendo il sistema di figura 1.

E' costituito da due blocchi:

- un archivio, che contiene i dati di geometria, di traffico, sugli incidenti e sulle condizioni ambientali;
- un insieme di programmi di analisi che utilizzano i dati presenti nell'archivio.

Le due parti sono collegate attraverso una matrice in cui vengono trasferiti solo i dati dell'archivio che sono utilizzati nelle successive analisi. Tali dati possono essere trasferiti nella matrice sia nelle forma originale che dopo opportune elaborazioni.

Attualmente il modello, il cui codice informatico è stato riprogettato ed implementato in Visual- basic ed access, è in fase di taratura mediante tecniche proprie dell'analisi dei gruppi.

In particolare le analisi, che si stanno conducendo, non sono più limitate ad un solo ramo della rete ma vengono contemporaneamente analizzati più rami.

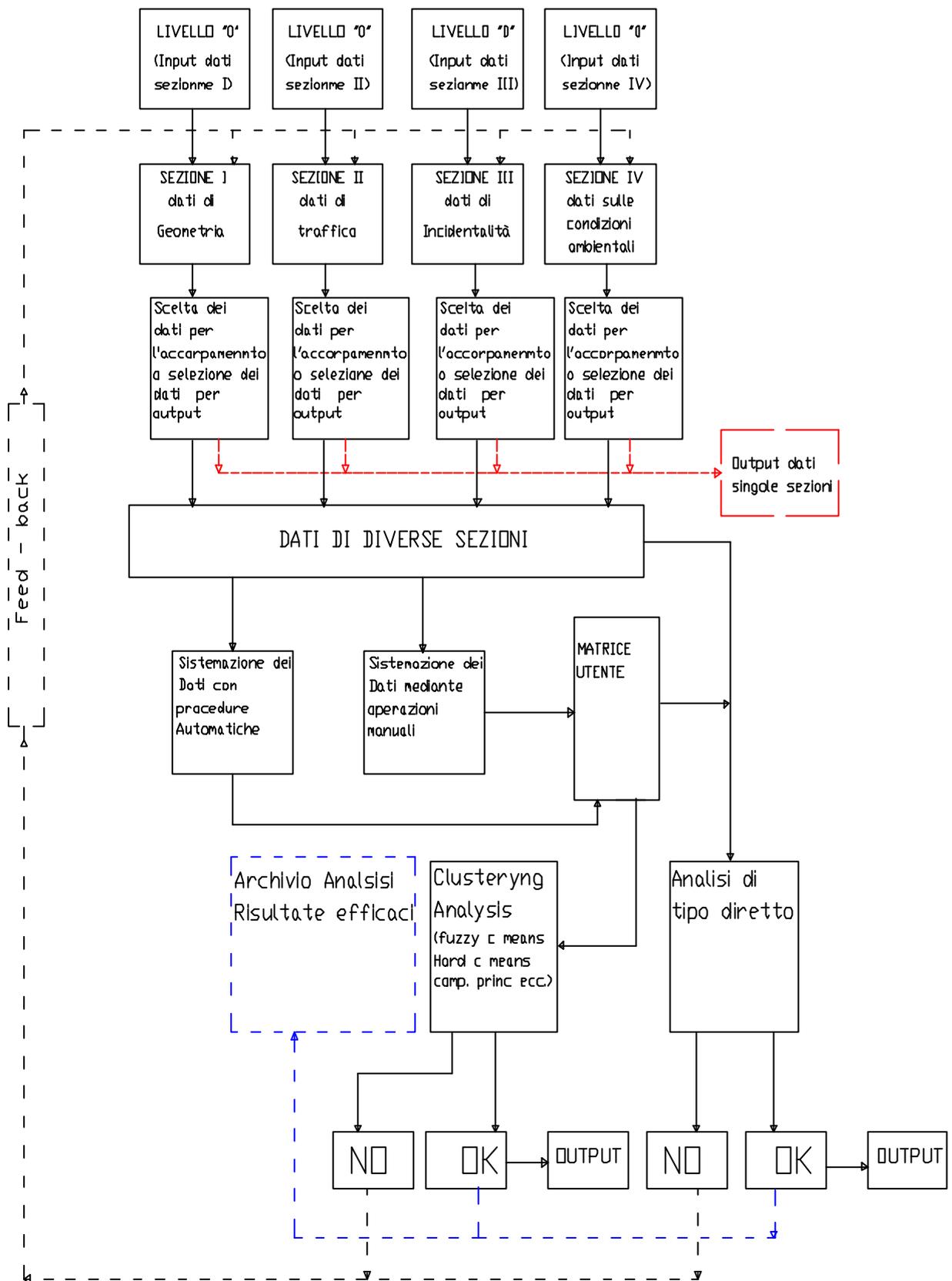


Figura 1 – Diagramma di flusso del sistema

## 2.2 Scelta dei dati e generazione della matrice utente

Partendo dal menù principale fig.2, è possibile compiere una serie di operazioni sui dati ,compresa l'aggiunta di nuove grandezze, nelle diverse sezioni dell'archivio.

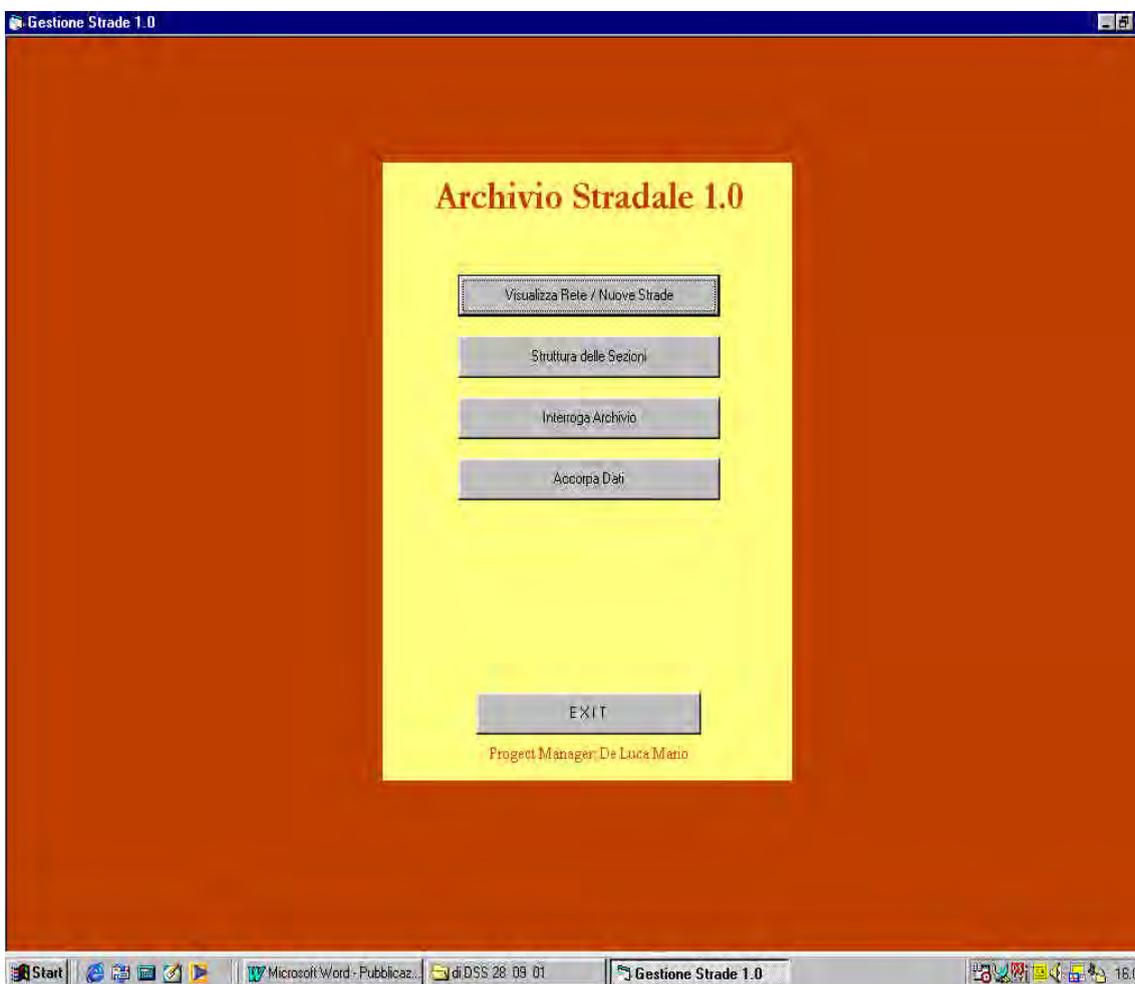


Figura 2- Menù principale del modello

Selezionando il comando “*visualizza rete/ nuova strada*” è possibile accedere ad una schermata, figura 3 , dove selezionata la strada delle rete e la sezione, viene visualizzato l'intero contenuto della stessa sezione; inoltre selezionando l'apposito comando “*nuova strada*” è possibile introdurre una nuova arteria nella rete. Tornando al menù principale azionando il comando “*struttura della sezione*” è possibile accedere ad una schermata dove, selezionando una strada delle rete e la sezione su cui operare, è possibile introdurre nuove variabili (figura 4).

Allo stesso modo selezionando dal menù principale il pulsante “*interroga archivio*”, si ha accesso ad una schermata che permette, previa scelta di una strada presente nella rete ed una delle quattro sezioni, di effettuare ricerche particolari usando le variabili della sezioni come discriminanti nella ricerca (figura 5).

Infine, selezionando il comando “*accorpa dati*”, è possibile accorpare i dati di due o più sezioni in una matrice, definita matrice utente i cui contenuti e forma variano in funzione del tipo di analisi che si conduce.

Scelta, dalla rete presente nell'archivio, la strada da studiare, quindi l'intervallo di progressive e di date su cui lavorare, è possibile ricavare i dati delle sezioni con i quali

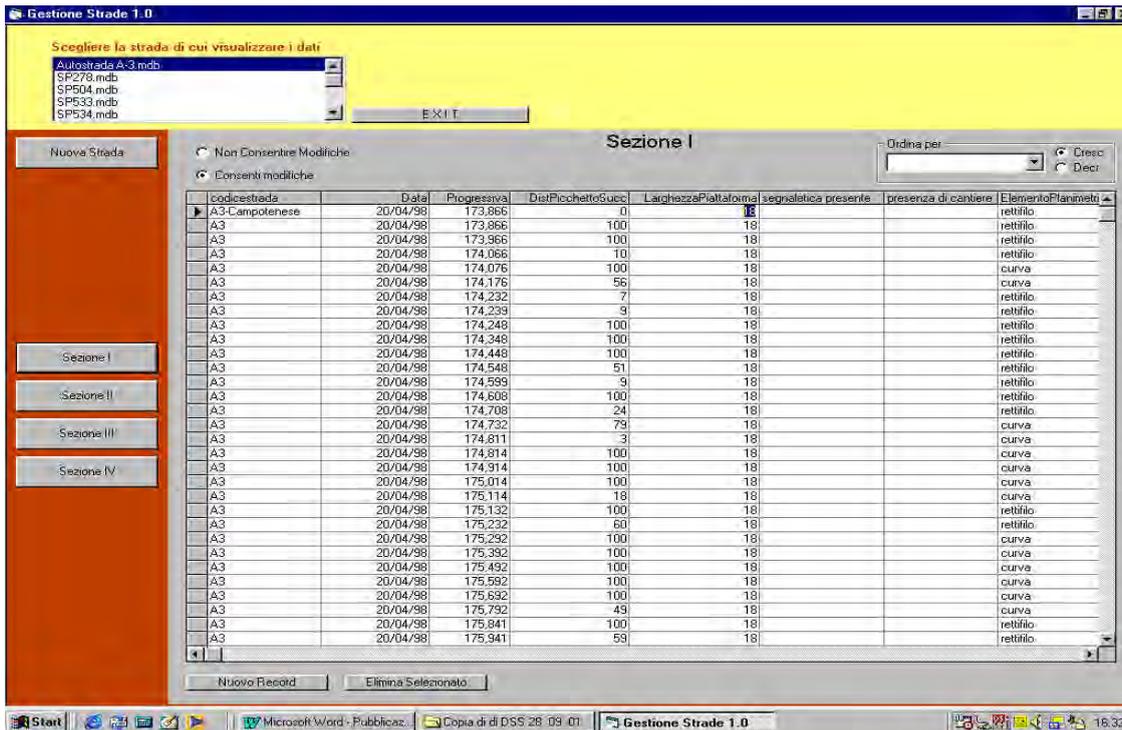


Figura 3 – Visualizzazione del contenuto delle sezioni – inserimento nuove strade

viene costruita la matrice utente secondo i criteri di seguito descritti. Nella sezione terza (incidenti) stabilito, attraverso il pulsante di attivazione, quante informazioni devono essere presenti per ogni incidente, è possibile delimitare nello spazio e nel tempo mediante vincoli di uguaglianza e/o disuguaglianza, i dati da introdurre nella matrice utente (figura 6).

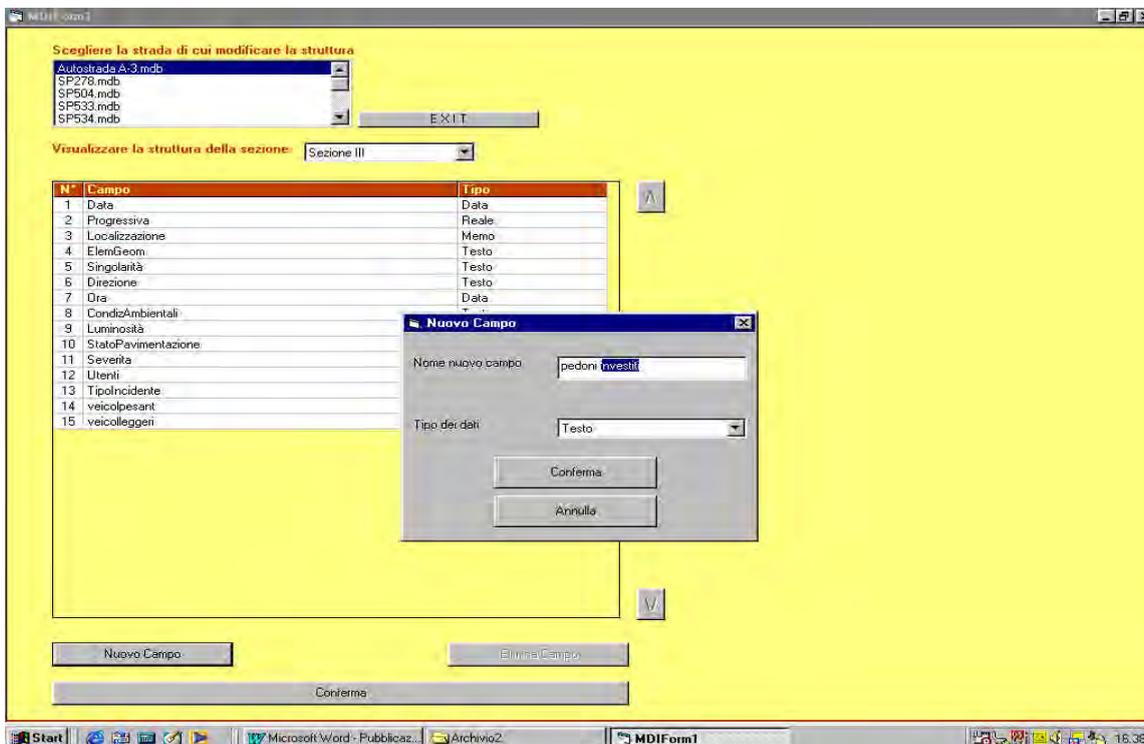


Figura 4 – Inserimento di nuovi campi nelle sezioni

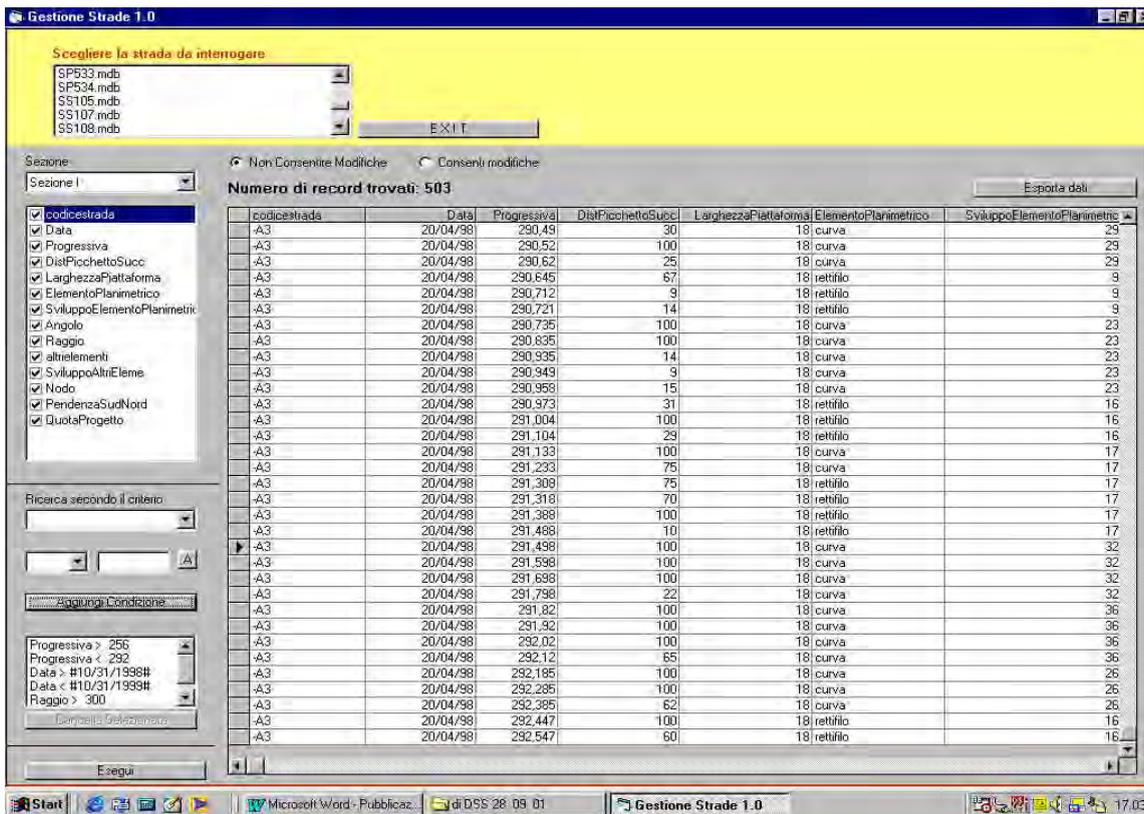


Figura 5 – Ricerca dati nelle sezioni

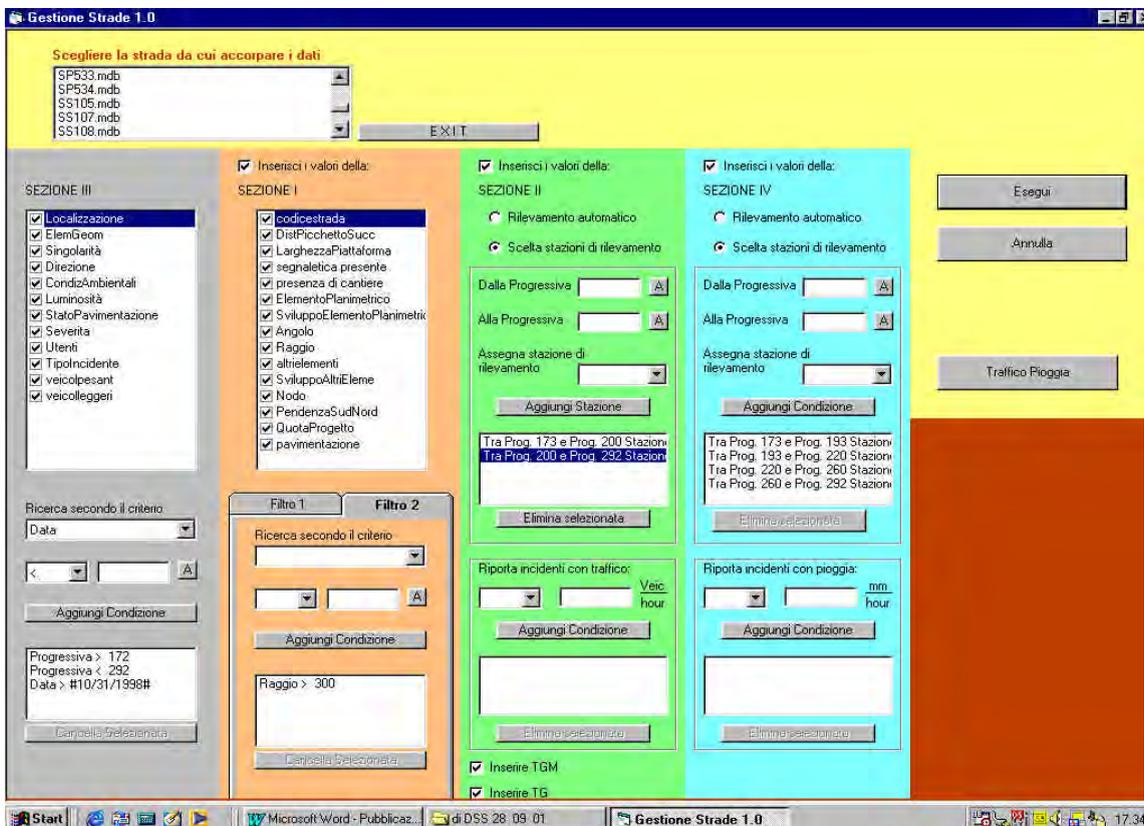


Figura 6 – criteri di scelta dei dati nelle sezioni per la generazione della matrice utente

Analogamente nella sezione prima (geometria) è possibile stabilire le condizioni della ricerca dei dati allo stesso modo, e con l'opzione attivabile mediante il comando "filtro 1", decidere se riportare la sola geometria in corrispondenza della progressiva dove è avvenuto l'incidente, o un tratto di lunghezza generica decisa dall'operatore oppure tutta la geometria presente nella sezione fra l'incidenti precedente e quello successivo. Nella sezione seconda (Traffico), considerato che le stazioni di rilevamento sono presenti in numero limitate nella rete e di conseguenza non è possibile avere in ogni progressiva il traffico relativo a tutte le ore dell'anno, sono state previste alcune opzioni.

Con riferimento alla figura 6, ed in particolare alla sezione seconda, scelta la stazione di rilevamento la lunghezza del tratto, attraverso il comando "aggiungi stazione" si caratterizza quel particolare tratto con la stazione di rilevamento scelta. Allo stesso modo è possibile caratterizzare il tratto, suddividendolo secondo le necessità dello studio, con più stazioni di rilevamento. In alternativa, scegliendo l'opzione "rilevamento automatico", viene assegnato ad ogni incidente il traffico della stazione rilevamento più vicina relativo alla data ed all'ora in cui lo stesso è avvenuto. Infine nella sezione quattro, dove sono inseriti i dati di pioggia relativi ai pluviometri prossimi alla strada in esame, sono state previste le stesse modalità di assegnazione delle altezze di pioggia sia in automatico che manuale.

Scegliere la strada da cui accorpate i dati

SP504.mdb  
SP533.mdb  
SP534.mdb  
SS105.mdb  
SS107.mdb

EXIT

Filtrati : 927 incidenti su 927

Progressiva	Data	Ora	Localizzazione	ElemGeom	Singolarità	Direzione	CondizAmbientali	Luminosità	StatoPavimenti	Severità	Utenti
173.5	22/05/99	16.20.00	A3-Morano dir	curva	assente	S	pioggia	giorno	bagnata	5feriti	non abituali
173.5	02/07/99	20.00.00	A3-Morano dir	curva	assente	S	pioggia	notte	bagnata	senza feriti	non abituali
173.5	21/05/99	16.40.00	A3-Morano dir	curva	assente	S	nuvoloso	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
173.5	03/04/99	9.15.00	A3-Morano dir	curva	assente	S	nuvoloso	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
173.75	26/04/99	14.00.00	A3-Carpolene	curva	assente	S	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
173.8	09/01/99	15.35.00	A3-Morano dir	curva	assente	S	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
173.8	17/11/98	8.05.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	S	pioggia	giorno	bagnata	2feriti	non abituali
174	02/09/99	11.40.00	A3-Morano dir	curva	assente	S	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
174	16/09/99	15.55.00	A3-Morano dir	curva	assente	S	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
174	19/04/99	14.30.00	A3-Morano dir	curva	assente	N	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
174	16/10/99	14.30.00	A3-Morano dir	curva	assente	N	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
175.075	22/09/99	14.53.00	A3-Morano dir	curva	assente	N	sereno	giorno	asciutta	1ferito	non abituali
176.65	08/07/99	11.20.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	N	sereno	giorno	asciutta	senza feriti	non abituali
176.675	11/11/98	17.10.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	S	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	abituali
176.7	24/10/98	8.30.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	N	sereno	giorno	asciutta	senza feriti	non abituali
177	08/10/99	18.00.00	A3-Morano dir	rettilo	galleria	S	sereno	giorno	asciutta	senza feriti	non abituali
177.82	13/07/99	15.45.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	S	sereno	giorno	asciutta	senza feriti	non abituali
178.25	22/12/98	8.10.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	S	neve	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
178.3	30/09/99	23.30.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	S	pioggia	notte	bagnata	senza feriti	non abituali
178.65	27/01/99	17.00.00	A3-Morano dir	curva	galleria	N	pioggia	notte	bagnata	senza feriti	non abituali
178.88	05/05/99	1.50.00	A3-Morano dir	rettilo	assente	N	nuvoloso	notte	asciutta	senza feriti	non abituali
179.1	08/02/99	14.25.00	A3-Morano dir	curva	vadotto	N	grandine	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
179.15	23/03/99	5.30.00	A3-Morano dir	curva	vadotto	N	grandine	notte	bagnata	senza feriti	non abituali
179.15	14/08/99	18.15.00	A3-Morano dir	curva	galleria	S	sereno	giorno	asciutta	1morto-1ferito	non abituali
179.45	24/08/99	1.20.00	A3-Morano dir	curva	assente	N	sereno	notte	asciutta	senza feriti	non abituali
179.45	26/08/99	6.40.00	A3-Morano dir	curva	assente	N	sereno	giorno	asciutta	senza feriti	non abituali
179.5	16/06/99	12.00.00	A3-Morano dir	curva	galleria	S	sereno	giorno	asciutta	senza feriti	non abituali
179.9	03/04/99	10.30.00	A3-Morano dir	rettilo	galleria	N	pioggia	giorno	bagnata	senza feriti	non abituali
179.98	24/04/99	17.00.00	A3-Morano dir	rettilo	galleria	N	nuvoloso	giorno	asciutta	senza feriti	non abituali

Torna indietro

Esporta Risultati

Figura 7 – Matrice utente

Pertanto stabiliti quali sono i dati delle quattro sezioni che devono comporre la matrice utente, azionando il comando "esegui" viene generata una matrice utente come quella indicata in figura 7, ed attraverso il pulsante "esporta risultati" può essere esportata in altri ambienti di lavoro.

Tale matrice, prima di essere adoperata, per effettuare delle analisi, spesso necessita di alcune sistemazioni della forma dei dati che in taluni casi particolari possono essere eseguiti in automaticamente.

Di seguito nella figura 8 si riporta il menù principale di uno dei programmi presenti ed adoperati nel modello con uno spaccato della matrice utente appositamente sistemata per l'analisi adoperata di seguito.

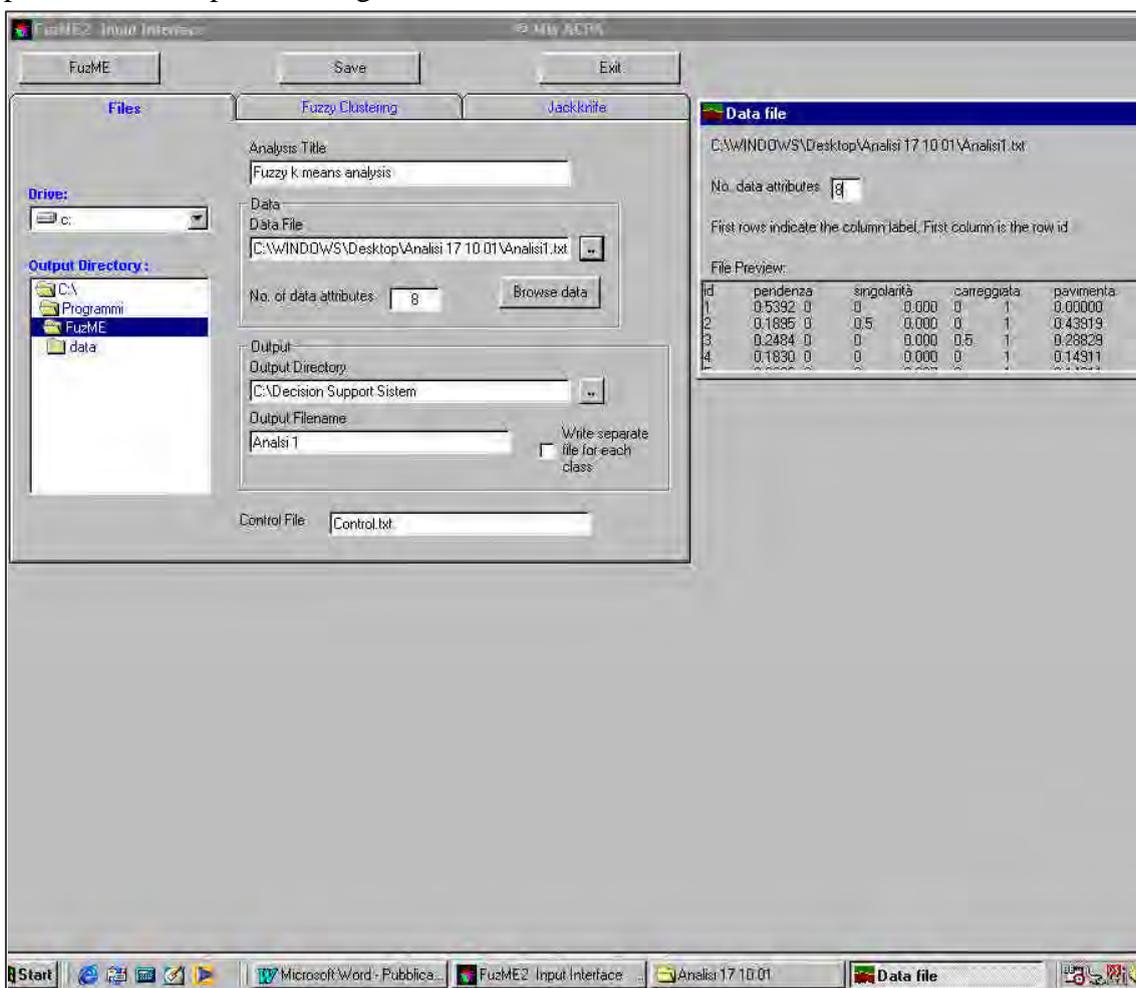


Figura 8-Immissione delle matrici utente in un programma di analisi presente nel sistema[3]

### 2.3 Tecniche di analisi presenti nel modello

La seconda parte del sistema, come già accennato, contiene un insieme di programmi di analisi che possono essere applicati ai dati della matrice utente.

### 2.4 Tecniche elementari e tecniche complesse

Le tecniche di analisi sull'incidentalità disponibili possono essere divise in due categorie: quelle basate su criteri di raggruppamento elementari e quelle i cui criteri di raggruppamento si basano su principi ed algoritmi complessi.

Le prime sono basate sull'esperienza di chi opera il quale individua i cluster in base a fatti intuitivi o all'esperienza.

Le seconde, i cui risultati sono sempre dei cluster, possono essere ricondotte prevalentemente ad una particolare categoria della statistica descrittiva nota come analisi dei dati che, impiegata per lo studio di un grande numero di caratteri quantitativi e qualitativi rilevati su più incidenti stradali (unità statistiche), consente di cogliere legami tra caratteri e tra fenomeni, individuare rassomiglianze e differenze, determinare strutture di associazione. Le tecniche proprie dell'analisi dei dati

comprendono le analisi dei gruppi, le analisi lineari e non, le analisi in componenti principali, ecc. Tali metodi si possono applicare a popolazioni finite o a campioni casuali; in quest'ultima situazione esse costituiscono una prima fase esplorativa di una ricerca che ha prevalenti aspetti inferenziali. Le tecniche suddette sono state formalizzate, come è noto, in logiche binarie (o crisp) e più di recente in logiche sfumate (o fuzzy).

### **3 APPLICAZIONE DEL MODELLO AD UNA RETE STRADALE DELLA PROVINCIA DI COSENZA**

#### **3.1 Descrizione dei rami di rete analizzati**

I dati utilizzati nel presente lavoro sono relativi a due rami di una rete stradale, che si sviluppa completamente nel territorio della provincia di Cosenza e riguardano un periodo di osservazione che va dal 31 ottobre 1998 al 30 ottobre 1999.

I due rami sono costituiti da circa 140 km dell'autostrada A3 e circa 25 km di SS107.

Il primo ramo si sviluppa fra gli svincoli di Campotenese e di Altilia-Grimaldi ed è caratterizzato altimetricamente da quote che variano intorno dai 200m a valori superiori agli 800m, con pendenze che arrivano al 5%. Planimetricamente è costituita da curve di raggio compreso tra i 300m ed i 1000m che costituiscono il 30% del tracciato. Nell'anno di osservazione, si sono verificati circa 900 incidenti.

Il secondo ramo si sviluppa fra i nodi di Paola e quello dello svincolo autostradale di Cosenza nord, con pendenze che nel tratto iniziale arrivano al 10%. Planimetricamente il ramo si sviluppa con tratti curvi per il 40% del suo tracciato; i raggi delle curve variano tra 100m ed i 600m; in molte di esse la visibilità è inferiore ai valori minimi previsti dalla normativa.

Inoltre nel ramo si alternano tratti interessati da viabilità urbana con tratti interessati da viabilità extraurbana

Nel tratto in esame, nell'anno di osservazioni, sono stati rilevati 80 incidenti.

Entrambi i due rami sono stati scelti per la loro differenza funzionale ed analizzati insieme per controllare il funzionamento del sistema in un'analisi di rete.

#### **3.2 Tecnica adoperata nel caso applicativo**

La tecnica adoperata per classificare gli incidenti relativi all'autostrada A3 ed alla strada statale SS107 è la Clustering analysis.

L'obiettivo dell'analisi dei gruppi consiste nell'individuazione di una particolare partizione  $U$ , in  $c$  gruppi  $(\mathcal{C} = \{c_1, \dots, c_n\})$ , dello spazio campionario  $X$  costituito da  $n$  elementi. L'assunto sul quale sono fondati tali metodi è il seguente: gli elementi dello spazio  $X$  appartenenti ad un gruppo sono caratterizzati da un'affinità matematica maggiore di quella riscontrabile tra elementi contenuti in gruppi diversi. Ciascun elemento del campione può essere schematizzato come un punto individuato da  $m$  coordinate, ciascuna delle quali costituisce un attributo dell'elemento stesso, una delle più semplici misure dell'affinità è rappresentata dalla distanza misurata tra due punti appartenenti allo spazio dei dati. Si definisce un'appropriata misura della distanza e si misura l'entità di questa tra ciascuna unità di osservazione e tutte le altre; ovviamente la distanza tra punti appartenenti allo stesso gruppo è considerevolmente minore della distanza tra punti contenuti in gruppi differenti.

### 3.3 Il Metodo c-means

Il metodo impiegato nel presente lavoro come metodo *c-means*. Sia  $X = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3, \dots, \mathbf{x}_n\}$  l'insieme degli  $n$  dati campionari da ripartire in  $c$  gruppi. Ciascun elemento,  $\mathbf{x}_i$ , è definito da  $m$  caratteristiche ( $\mathbf{x}_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{im}\}$ ) per cui  $\mathbf{x}_i$  può essere rappresentato da un punto dello spazio  $R^m$ . Il metodo è fondato sull'impiego di una funzione obiettivo  $J$  che per successive approssimazioni tende alla costruzione di gruppi "sferoidali". La funzione obiettivo persegue due risultati simultaneamente: in primo luogo, minimizza le distanze Euclidee tra ciascuno dei punti d'ogni gruppo ed il centro del gruppo (che generalmente non coincide con uno dei punti campionari) stesso, ed in secondo luogo, massimizza la distanza Euclidea tra i centri di tutti i gruppi.

Sia  $U$  la generica partizione ed  $U^*$  quella ottima appartenenti allo spazio  $M_c$  delle possibili partizioni di  $X$ . Il valore  $J=J(U)$  assunto dalla funzione obiettivo in corrispondenza di ciascuna partizione  $U$  costituisce una misura relativa del grado d'avvicinamento di questa a quella ottima. La funzione obiettivo da minimizzare è la somma dei quadrati delle distanze Euclidee misurate tra tutti i punti ed il centroide di ciascun gruppo.

La ricerca della partizione  $U^*$ , in pratica, è operazione estremamente gravosa perché la cardinalità dello spazio  $M_c$  delle possibili partizioni di  $X$  tende rapidamente ad infinito. La ricerca dell'ottimo globale in problemi di dimensioni significative non è perseguibile senza oneri particolarmente gravosi dal punto di vista computazionale per cui il problema viene risolto impiegando un algoritmo di *ottimizzazione iterativa*.

Ipotizzando una partizione  $U^{(r=0)}$  di primo tentativo, il numero  $c$  dei gruppi, ed un valore per la tolleranza dell'iterazione  $\hat{\alpha}$  (accuratezza richiesta per la soluzione) si determina la posizione dei centroidi dei gruppi. A partire da questi si calcola nuovamente l'appartenenza di ciascun punto ai diversi gruppi e si ottiene una nuova determinazione della matrice  $U^{(r=1)}$ . Si confrontano, quindi, le due determinazioni successive della matrice  $U$  e si itera il processo sino a quando la differenza tra le partizioni ottenute in due cicli successivi non eccede il predefinito livello di tolleranza.

### 3.4 Definizione della matrice utente e delle variabili.

Scelti i due rami, indicati nel punto 3.1, della rete, l'intervallo temporale comune alle due arterie dal 31/10/98 al 31/10/99 e le relative progressive comprese fra 0,00 e 24,500 per la SS107 e 173,00 e 292,00 per l'A3, dalle quattro sezioni dell'archivio, con una serie di passi logici, meglio specificati nei paragrafi precedenti, si è arrivati a definire la matrice finale per l'applicazione dell'analisi *hard c-means*. La matrice è relativa a 750 incidenti stradali (punti campionari) di cui 670 verificatisi nell'autostrada A3 ed 80 nella SS107. Essi sono stati codificati, dopo svariati tentativi, mediante otto variabili ritenute le più adatte per lo studio.

Questa operazione segue una serie di tentativi che hanno dato risultati non soddisfacenti che hanno comunque consentito di effettuare delle correzioni: sia aggiungendo informazioni nell'archivio e sia modificando la matrice utente. Tra l'altro sono stati esclusi 250 incidenti dei 1000 di partenza che erano anomali per la ricerca in corso. Poiché si ricercavano dipendenze dell'indice di incidentalità da condizioni geometriche ed ambientali, sono stati esclusi tutti gli incidenti dovuti ad incendio del mezzo, ad investimento di cani, a guasti meccanici nonché quelli verificatisi sulle rampe degli svincoli.

Analogamente anche per le variabili, come già accennato, si è proceduto con svariati tentativi; infatti nelle varie fasi in cui si sono ripetute le analisi si sono inserite e rimosse quasi tutte le variabili arrestando il processo quando i risultati si sono ritenuti accettabili.

Nella tabella 1 sono riportate in modo schematico le variabili adottate nell'analisi dei gruppi.

N	DESCRIZIONE	DEFINIZIONE	CODIFICA
1	Progressiva ( <b>Prog</b> )	Progressiva definita ,con il valore reale, sull'intervallo:[0, 24.5] U [173.00, 292.00]	
2	Pendenza longitudinale ( <b>Pend</b> )	i %	+ salita - discesa
3	Singolarità ( <b>Sing</b> )	Assenza di opere d'arte Viadotti Imbocco/uscita gallerie Gallerie	1 2 2,5 3
4	Carreggiata ( <b>Car</b> )	Strada a unica carreggiata Strada a due carreggiate con restring. Strada a due carreggiate separate Presenza di intersezione a raso	1 1,5 2 3
5	Stato della pavimentazione ( <b>Pav</b> )	Asciutto Asciutto con buche Bagnato Bagnato con buche Presenza di ghiaccio Presenza di neve	1 1,5 2 2,5 3 4
6	Condizioni di luminosità( <b>Lum</b> )	Giorno Luce artificiale Notte	1 1,5 2
7	Utenti ( <b>Uten</b> )	Abituali Abituali e non Non abituali	1 1,5 2
8	Velocità prevista dal codice della strada per il tratto moltiplicato la Curvatura ( <b>Vel_Curv</b> )	Strada statale con intersezioni a raso Strada statale extraurbana senza intersezioni Autostrada	50*(1/R) 90*(1/R) 130*(1/R)

**Tabella 1: Variabili adoperate nell'analisi**

#### 4. RISULTATI

La struttura dell'algorithmo Hard c – Means presuppone che il numero dei cluster sia noto a priori.

Il numero ottimale di cluster con cui operare la classificazione definitiva non è però noto, ciò è dovuto alla sostanziale carenza di informazioni iniziali sulla struttura dei cluster entro la quale collocare le unità di osservazione.

Pertanto si è operato per tentativi, ipotizzando diverse ripartizioni del data base, per poi scegliere a posteriori, valutando l'entità dell'indice di miglior raggruppamento S.

Il valore migliore di "S" si è avuto in corrispondenza di una ripartizione in 15 cluster.

Ad ognuno dei quindici cluster, individuato dall'algorithmo, è stato associato il significato di scenario tipico del tratto analizzato. In tal modo ogni scenario è caratterizzato, oltre che da grandezze geometriche e situazione ambientali, da un indice di pericolosità (prodotto di un indice di incidentalità, di seguito meglio illustrato, per la severità). Nella tabella 2, si riportano l'insieme delle grandezze associate a ciascuno degli scenari individuati, ordinati in modo decrescente rispetto alla variabile "pericolosità"

Le variabili da 1 a 8 sono i valori medi delle grandezze indicate nella tabella 1.

L'indice di incidentalità è stato calcolato come rapporto tra il numero di veicoli incidentati nel tratto nell'anno di osservazione, e la percorrenza del tratto compreso tra

due incidenti estremi del gruppo (minima e massima progressiva), ed è stato espresso come numero di veicoli incidentati ogni cento milioni di veicoli-chilometro.

Si osservi che la percorrenza è stata calcolata con riferimento ai diversi TGM che interessano i vari scenari nell'anno di osservazione; pertanto la pericolosità associata ad ogni cluster va intesa come la probabilità di incidente posseduta da un veicolo che percorre lo scenario.

La severità è il valore medio della severità dei singoli incidenti valutata come segue:

VARIABILE	LIVELLI	CODIFICA
SEVERITÀ	SENZA FERITI	1
	DA 1 A 3 FERITI	1,5
	DA 4 A 7 FERITI	2,5
	MORTALE	3

Gruppo	Lunghezza tratto	TGM associato al tratto per senso di marcia	Ramo della rete	Variabili indipendenti								Variabili dipendenti		
				VAR 1 Progressiva	VAR 2 Pendenza	VAR 3 Singolarità	VAR 4 Carreggiata	VAR 5 Stato Pavimentazione	VAR 6 Luminosità	VAR 7 Utenti	VAR 8 Velocità*Curvatura	Severità	li	PERICOLOSITA' (li*severità)
n	24,0	5000	SS107	13,1	7,00	1,11	2,53	1,58	1,00	1,03	0,194	1,76	146,12	257,6
g	27,8	10000	A3	283,2	-1,15	2,79	1,36	2,00	1,50	1,98	0,238	1,14	198,09	225,9
i	24,30	5000	SS107	8,6	3,40	1,68	2,28	1,40	1,84	1,14	0,199	1,52	112,75	171,4
f	21,94	5000	SS107	20,0	-2,00	1,00	2,80	1,33	1,00	1,77	0,160	1,93	77,42	149,7
h	112,8	10000	A3	261,6	-2,22	1,01	1,18	1,99	1,00	2,00	0,198	1,20	53,90	65,1
b	113,2	10000	A3	233,6	-0,49	1,03	1,09	1,00	0,99	2,00	0,107	1,22	40,65	49,8
c	29,0	10000	A3	275,5	0,97	2,81	1,25	1,73	1,50	1,04	0,228	1,17	41,57	48,8
d	66,8	10000	A3	263,2	-0,90	1,08	1,11	2,00	1,00	1,20	0,168	1,29	35,27	45,6
k	85,3	15000	A3	248,1	-0,51	1,02	1,13	1,00	1,00	1,25	0,087	1,23	18,94	23,5
e	112,2	10000	A3	237,2	-0,42	1,02	1,07	1,00	1,99	1,93	0,085	1,16	18,31	21,3
a	107,8	10000	A3	239,8	-1,19	2,87	1,22	1,00	1,50	1,88	0,154	1,21	15,50	18,8
l	110,2	10000	A3	244,2	-1,54	1,00	1,10	2,00	2,00	1,97	0,143	1,22	11,44	14,1
j	92,2	15000	A3	248,5	-0,05	1,09	1,04	1,48	2,02	1,00	0,117	1,18	11,59	13,7
o	107,7	10000	A3	241,5	-1,34	2,08	1,22	1,92	2,08	1,92	0,206	1,19	8,65	10,3
m	79,0	15000	A3	245,6	2,50	2,20	1,00	1,40	2,00	1,80	0,124	1,20	6,00	2,5

**Tabella 2 - Scenari individuati**

Per valutare le significative divisioni in cluster effettuate dall'analisi, in termini di incidentalità, si è valutata la correlazione fra la "pericolosità" e le variabili che caratterizzano i cluster. La correlazione lineare multipla ha fornito un coefficiente  $R^2=0,78$  che può essere ritenuto molto buono.

Si precisa che nella regressione lineare multipla non è stata inserita la variabile progressiva perché, pur dando un contributo positivo al coefficiente  $R^2$ , in termini generali, nella relazione 3, diveniva di difficile interpretazione.

Di seguito si riporta la relazione che lega le 7 variabili alla variabile pericolosità (li\*severità).

$$I^*Sev = -123,98 + 12,08(Pend) - 3,53(Sing) + 67,99(Carr) + 6,85(Pav) - 38,99(Lum) + 37,86(Uten) + 579,51(Vel\_Curv)$$

### Relazione 3 - Relazione fra le variabili

Tale relazione, allo stato attuale, non ha validità generale tuttavia in ambito locale, cioè in riferimento ai due rami analizzati, rappresenta un ottimo risultato ed in modo particolare costituisce una importante conferma circa la dipendenza della pericolosità di alcuni tratti stradali dalle caratteristiche degli scenari.

Nella tabella 3, si riporta il confronto fra i valori osservati e quelli calcolati ottenuti sostituendo nella precedente relazione i valori assunti dalle otto variabili nei 15 scenari analizzati.

cluster	(Costante)	PENDENZA	SINGOLARITA'	CARREGGIATA	PAVIMENTAZIONE	LUMINOSITA'	UTENTI	VEL_CURV	I2*SEVERITA'	I2*SEVERITA' (Pericolosità)
	<b>-123,98</b>	<b>12,08</b>	<b>-3,53</b>	<b>67,99</b>	<b>6,85</b>	<b>-38,99</b>	<b>37,86</b>	<b>579,51</b>	<b>calcolati</b>	<b>osservati</b>
n	-123,98	84,56	-3,90	171,77	10,82	-38,99	38,89	112,41	<b>251,58</b>	<b>257,63</b>
g	-123,98	-13,86	-9,86	92,46	13,74	-58,48	75,02	138,08	<b>113,11</b>	<b>225,86</b>
i	-123,98	41,12	-5,93	155,03	9,60	-71,74	43,16	115,22	<b>162,48</b>	<b>171,37</b>
f	-123,98	-24,16	-3,53	190,38	9,14	-38,99	66,89	92,54	<b>168,30</b>	<b>149,68</b>
h	-123,98	-26,87	-3,58	80,03	13,66	-38,99	75,73	114,50	<b>90,50</b>	<b>65,12</b>
b	-123,98	-5,97	-3,62	74,23	6,88	-38,66	75,73	61,73	<b>46,34</b>	<b>49,80</b>
c	-123,98	11,66	-9,91	84,99	11,86	-58,48	39,32	131,96	<b>87,43</b>	<b>48,76</b>
d	-123,98	-10,90	-3,80	75,69	13,71	-38,99	45,37	97,11	<b>54,21</b>	<b>45,59</b>
k	-123,98	-6,16	-3,61	76,49	6,85	-38,99	47,33	50,16	<b>8,11</b>	<b>23,46</b>
e	-123,98	-5,10	-3,60	72,85	6,85	-77,58	73,02	49,37	<b>-8,16</b>	<b>21,30</b>
a	-123,98	-14,37	-10,13	83,20	6,85	-58,48	71,24	89,19	<b>43,54</b>	<b>18,76</b>
l	-123,98	-18,66	-3,53	74,79	13,71	-77,97	74,65	82,81	<b>21,82</b>	<b>14,05</b>
j	-123,98	-0,55	-3,86	70,51	10,15	-78,70	37,86	67,60	<b>-20,95</b>	<b>13,73</b>
o	-123,98	-16,17	-7,35	83,10	13,14	-81,22	72,57	119,51	<b>59,60</b>	<b>10,30</b>
m	-123,98	30,20	-7,77	67,99	9,60	-77,97	68,15	72,09	<b>38,32</b>	<b>2,50</b>

**Tabella 3 – confronto fra i valori calcolati e quelli osservati**

## Conclusioni

Nello studio, per giungere ai risultati illustrati, sono stati condotti diversi tentativi di analisi con il doppio intento di verificare la capacità del modello a supportare analisi di rete e di valutare l'efficacia di queste analisi nel campo della sicurezza stradale. Le analisi condotte contemporaneamente su due rami della rete riguardano l'autostrada A3 e la ss107.

Come si evince dalla figura 1 il sistema è dotato nella sua logica costruttiva di un processo di retro alimentazione "feed-back" che permette di individuare carenze strutturali e formali del sistema quando a valle un processo di analisi lo evidenzia. Operando in tal senso, la tecnica di analisi adoperata ha dato alcuni interessanti indicazioni sia per la struttura dell'archivio che per le variabili adoperate nella matrice utente.

Per l'archivio è stato necessario introdurre nella sezione prima e terza alcune nuove variabili che permettono di gestire incidenti avvenuti in presenza di cantieri, pertanto, nella sezione terza è stato introdotto un nuovo campo definito "tipologia incidente" mentre nella sezione prima sono stati introdotti due nuovi campi definiti rispettivamente "segnaletica presente" e "presenza di cantiere".

Nel corpo analisi invece nell'applicare la tecnica di analisi alla matrice utente, dopo svariati tentativi, si è visto che i risultati migliori si sono presentati quando è stata levata la variabile "TGM", vista la scarsa variabilità che presentava in questo caso, ed è stata introdotta la variabile "Progressiva" per tenere conto della georeferenziazione dell'incidente.

Inoltre l'interessante correlazione tra la "pericolosità" e le variabili che caratterizzano i quindici scenari individuati dalla Hard c- Means consente di trarre alcune importanti conclusioni sugli elementi che conferiscono pericolosità agli scenari stessi.

È emerso che gli scenari a più alto rischio di incidentalità riguardano la viabilità ordinaria; ciò conferma che le strade statali sono caratterizzate da scenari più pericolosi rispetto alle autostrada.

In particolare per la SS107 lo scenario più pericoloso si ha in presenza strada bagnata di curve planimetriche di raggio medio di 250m, presenza di intersezioni a raso, pendenze intorno al 7%, utenti abituali e condizioni di luce diurna.

Mentre per L'A3 lo scenario a maggiore rischio di incidente si ha in discesa, con restringimento di carreggiata, pavimentazione bagnata, in galleria, con luce artificiale, ed utenti non abituali.

Si ritiene che i risultati eseguiti rappresentino un grosso passo in avanti per la definizione di uno strumento per la gestione della sicurezza stradale. In particolare un'estensione dello studio a più rami della rete, ad un periodo di osservazione maggiore di un anno ed una scelta più ponderata delle variabili presenti nella matrice utente con buona probabilità potranno portare a definire un coefficiente di correlazione migliore che potrà confermare in modo definitivo la dipendenza della pericolosità di alcuni tratti da alcune grandezze che definiscono gli scenari.

## **Bibliografia**

1. Dell'Acqua G., (2000), Tesi di Dottorato, *Modelli e Metodi in Logica Fuzzy di Classificazione degli Incidenti Stradali e Scelta degli Interventi di Ripristino delle Condizioni di Sicurezza*, Dottorato di Ricerca in Infrastrutture Viarie e Sistemi di Trasporto, Napoli;
2. Dell'Acqua G., Lamberti R., (2000), *Procedura fuzzy per la scelta degli interventi di ripristino delle condizioni di sicurezza di una rete stradale*, Atti del X° Convegno SIIV, Catania;
3. Mcbratney A.B, Minansy B., *Software Fuzzyme 2* , *publication of the Australian centre for precision agriculture (ACPA) anno 2000*
4. De Luca M., Greco D., Grossi R. – *Archivio Stradale e scenari di incidente-* Atti del X° Convegno SIIV, Catania;
5. Dell'Acqua G., De Luca M., Grossi R. *Utilizzazione di un modello di archivio stradale per lo studio dell'incidentalità mediante cluster analysis* – Atti del convegno Input 2001-  
“informazione e pianificazione urbana e territoriale” - Isole Tremiti - (Foggia);
6. Nuovo Codice della strada edizione Simone NAPOLI 1993.
7. Norme Funzionali e Geometriche per la costruzioni delle strade - CNR - Roma 13 novembre 1998