



## **L'INFLUENZA DELLA CONFIGURAZIONE DELLE CURVE SUL COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI E SULLO STATO DI RISCHIO**

**Giovanni Gatti**

Dipartimento di Vie e Trasporti - Politecnico di Bari  
Via Orabona,4. 70125 Bari  
Tel: +39 080.5963209 - Fax: +39.080.5963209  
E-mail: [gatti@dvt005.poliba.it](mailto:gatti@dvt005.poliba.it)

**Ernesto Cavuoti**

Dipartimento di Vie e Trasporti - Politecnico di Bari  
Via Orabona,4. 70125 Bari  
Tel: +39 080.5963330 - Fax: +39.080.5963329  
E-mail: [cavuoti@dvt005.poliba.it](mailto:cavuoti@dvt005.poliba.it)

# L'INFLUENZA DELLA CONFIGURAZIONE DELLE CURVE SUL COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI E SULLO STATO DI RISCHIO

GIOVANNI GATTI - Dipartimento di Vie e Trasporti – Politecnico di Bari

ERNESTO CAVUOTI – Dipartimento di Vie e Trasporti – Politecnico di Bari

## SOMMARIO

Lo studio propone un metodo per il calcolo dell'affidabilità in curva. Parte dal presupposto che il comportamento degli utenti, influenzato a sua volta dalla geometria della strada e dalle condizioni ambientali, ha un ruolo fondamentale nel determinare lo stato di rischio. Il metodo è basato su una serie di rilevamenti della velocità e delle traiettorie dei veicoli, effettuati in corrispondenza delle curve, oggetto di studio. Mediante l'applicazione delle *catene di Markov* si è potuto studiare statisticamente il comportamento degli utenti, in relazione alla velocità inizialmente tenuta in rettilineo e alla decelerazione impressa nel percorso in curva.

In base alle velocità e alle decelerazioni effettuate si sono calcolate le forze centrifughe e di inerzia, per confrontarle, con i metodi di calcolo dell'affidabilità, con le forze resistenti dell'aderenza e dell'attrito. Si è poi approfondito lo studio ipotizzando che, negli scenari esaminati, i conducenti siano costretti a frenare per l'apparire all'improvviso di un ostacolo sulla traiettoria del veicolo.

I rilievi di velocità sono stati effettuati solo su pavimentazione asciutta. Sono stati calcolati i valori di rischio, molti dei quali sono risultati non nulli. Il rischio per slittamento longitudinale è risultato invece nullo in tutti gli scenari considerati. Lo studio va completato con rilievi per superfici bagnate.

## ABSTRACT

This study proposes a method for the reliability calculation near bends. It starts from the presupposition that the users' behaviour influenced, in its turn, by the geometry of the road and the surroundings, has a fundamental role to determine the risk state. The method is based on a series of speed and vehicles trajectory recordings in several sections taken near bends, object of the study. The users' behaviour was statistically studied by adopting the *Markov chains*, according to the speed initially reached in the straight stretch and the deceleration impressed along the bend path.

The centrifugal and inertial forces were calculated according to the speed and the deceleration reached, so that they could be compared, with the reliability calculation methods, to the withstanding forces adhesion and friction. The study went into more detail by assuming that, in the examined scenarios, drivers were forced to brake because of the sudden appearance of an obstacle along the vehicle's trajectory.

The speed recordings were accomplished only on dry floor. The risk values were calculated for all the scenarios, many of which reported some risk. The risk for longitudinal slip was void in all the scenarios. It is necessary to complete the study with recordings for wet surfaces.

## **1. LE RELAZIONI FRA GEOMETRIA STRADALE E COMPORTAMENTO DELL'UTENTE**

E' noto che la sicurezza di circolazione sulle infrastrutture viarie è legata al contributo di tre fattori essenziali:

1. Le caratteristiche costruttive e prestazionali del veicolo stradale;
2. Lo stato psicofisico del conducente;
3. L'ambiente nel quale si svolge il movimento (strada-contesto).

Il fattore sul quale i progettisti stradali possono intervenire per accrescere la sicurezza è il terzo. Nel passato, il tracciato stradale, per adattarsi all'orografia del terreno, era costituito da tratti in rettilineo, raccordati fra loro da curve generalmente circolari. Attualmente, come è noto, anche in zone pianeggianti, si preferisce limitare la lunghezza dei rettifili, inserendo curve ad ampio raggio, onde evitare la monotonia della marcia e ridurre gli effetti dell'abbagliamento.

Un veicolo che percorre una traiettoria curvilinea, è sottoposto alla forza centrifuga. In queste condizioni il conducente percepisce la "situazione di pericolo" se la forza centrifuga supera il valore della forza di aderenza, per cui il conducente, percependo la "possibile" velocità di percorrenza consentita, tende a rientrare nei limiti dell'equilibrio [1].

Quanto detto evidenzia il ruolo fondamentale che assume la velocità di progetto e la percezione da parte dell'utente.

Tuttavia una strada, pur realizzata correttamente non garantisce condizioni di percorrenza "sicura" se non in relazione a quanto l'utente riesce a percepire per adeguare la sua velocità di marcia.

Il presente studio ha lo scopo di evidenziare sperimentalmente il comportamento reale dell'utente, dare una interpretazione statistica dei risultati, analizzando come il conducente affronta la percorrenza di una curva, assumendo la velocità come variabile di controllo.

## **2. LE GRANDEZZE FONDAMENTALI**

E' noto che un veicolo che percorre una infrastruttura stradale è sollecitato da forze alle quali si oppongono le reazioni generate dal contatto pneumatico - strada: in particolare nei raccordi circolari sorge la forza centrifuga, contrastata dalla forza di aderenza trasversale, e nelle fasi di rallentamento e di accelerazione, la forza d'inerzia, contrastata dalla forza di aderenza longitudinale.

Considerata l'importanza dei coefficienti di aderenza, longitudinale e trasversale, è stata ricostruita un'ampia casistica di valori, al fine di individuare, per ogni condizione, quelli più rispondenti alle situazioni rilevate.

### **2.1 L'aderenza longitudinale**

E' noto che il coefficiente di aderenza  $f_a$  definisce l'aliquota del peso che grava su di una ruota utilizzata come forza di aderenza. E' funzione di numerosi fattori quali le condizioni dei pneumatici, le condizioni della strada, la presenza di acqua, la velocità, lo scorrimento  $s$ , ecc.

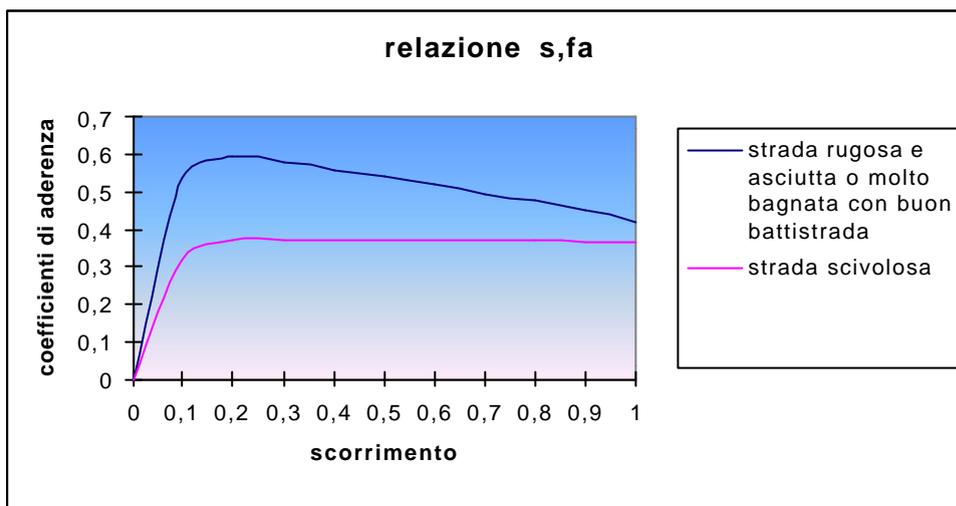
Si possono riportare i risultati delle esperienze in un diagramma dove le curve si riferiscono alle seguenti condizioni [2]:

- 1, strada rugosa e asciutta, o molto bagnata con buon battistrada
- 2, strada scivolosa (superficie fangosa o sporca) con battistrada liscio.

Dal diagramma di fig. 1 si rileva che in condizioni di strada asciutta, o molto bagnata con battistrada in ottimo stato, il coefficiente di aderenza  $f_a$  presenta un picco in corrispondenza di valori di scorrimento  $s = 0.17 - 0.18$  superato il quale si ha un decadimento del coefficiente.

Invece per strade scivolose con battistrada liscio (condizione equiparabile a quella di inizio della precipitazione)  $f_a$  cresce fino ad un valore sensibilmente più contenuto in corrispondenza di  $s = 0.17$  per poi mantenersi piuttosto costante.

Alla luce di ciò, per legare il coefficiente di aderenza alla velocità del veicolo, è lecito riferirsi ai due valori tipici dello scorrimento,  $s = 0.17$  oppure  $s = 1$ , secondo le condizioni di seguito indicate.

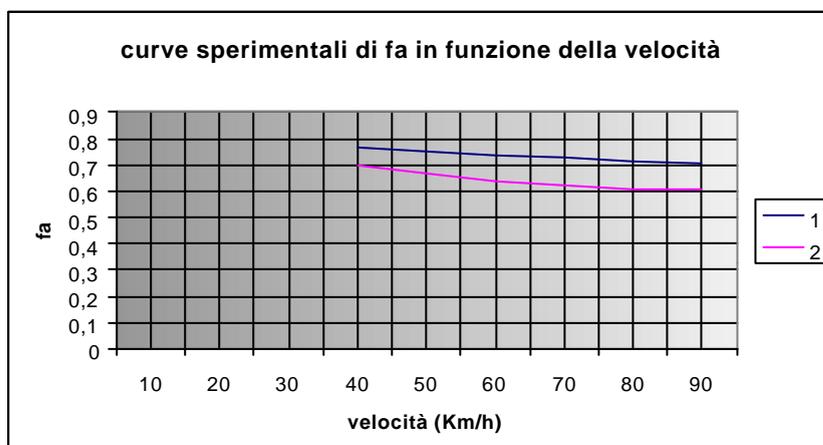


**Fig. 1. Relazione coefficiente di aderenza, scorrimento.**

Quando la strada si presenta asciutta la condizione che si realizza con più frequenza è quella relativa allo scorrimento  $s = 0.17$ , per la quale si ha anche il massimo valore del coefficiente di aderenza.

Di seguito si riportano gli andamenti di  $f_a$  rispetto alla velocità (Tab.1, fig. n. 2).

1. Andamento sperimentale Moyer - Stagni (Stagni)
2. Andamento medio indicativo (Ferrari - Giannini)



**Fig. 2 Relazione forze di aderenza - velocità, su strada asciutta.**

Velocità(Km/h)	40	50	60	70	80	90
1	0.77	0.75	0.74	0.73	0.715	0.705
2	0.7	0.67	0.64	0.62	0.61	0.605

**Tab.1.– Coefficienti di aderenza per strada asciutta**

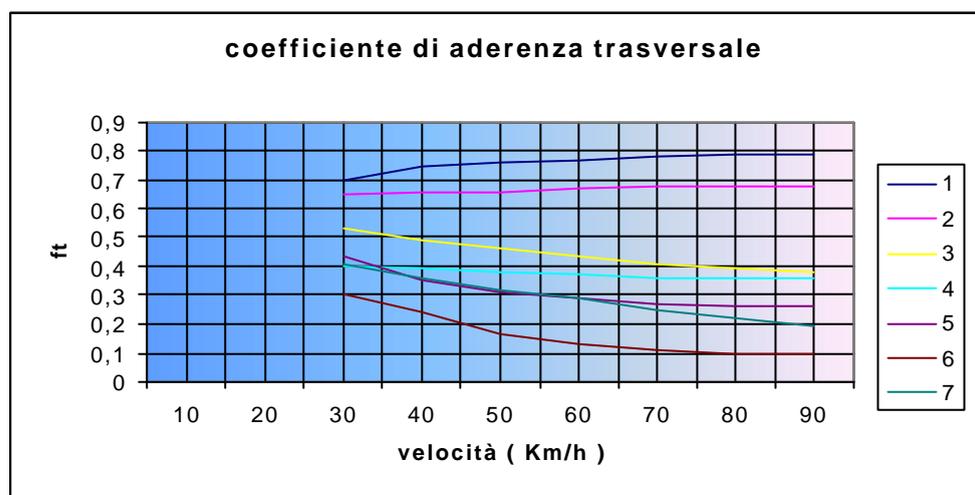
Altri andamenti vengono riportati da vari autori per strada bagnata e spessore del velo idrico  $d = 0.2 - 2 \text{ mm}$ , oppure  $d = 5-14 \text{ mm}$ .

## 2.2 L'aderenza trasversale

Come è noto, la ricerca sperimentale del coefficiente di aderenza trasversale mira alla valutazione di  $ft$ , note le forze agenti al limite delle condizioni di aderenza.

Si riportano di seguito alcune curve sperimentali indicative dell'andamento di  $ft$  con il variare della velocità (Tab. n. 2. Fig. n. 3).

1. Relazione sperimentale di Bradley e Allen (Stagni) per superfici asciutte
2. Relazione sperimentale di Bird e Scott (Stagni) per superfici asciutte
3. Valori ottenuti mediando i risultati di altri autori
4. Relazione sperimentale di Bradley e Allen (Stagni) per superfici bagnate
5. Relazione sperimentale di Bird e Scott (Stagni) per superfici bagnate
6. Curva rappresentativa dei valori di  $ft$  fissati dalle Norme Italiane per le condizioni più sfavorevoli di resistenza e peso aderente
7. Relazione empirica di Lamm e Herring ricavata per condizioni particolari.



**Fig. 3. Coefficiente di aderenza trasversale, secondo i rilievi sperimentali di vari autori.**

Velocità (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90
1	0.7	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.79
2	0.65	0.66	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68
3	0.53	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38
4	0.4	0.39	0.38	0.375	0.36	0.36	0.36
5	0.44	0.35	0.31	0.29	0.27	0.26	0.26
6	0.3	0.24	0.2	0.17	0.146	0.13	0.12
7	0.41	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19

**Tab.2 – Coefficiente di aderenza trasversale secondo i rilievi sperimentali di vari autori.**

### 3. VALUTAZIONE DELL’AFFIDABILITÀ ALLA PERCORRENZA

E' noto che il raggiungimento della velocità limite di sbandamento o della decelerazione limite di slittamento comporta una situazione di frontiera per la percorrenza della curva in sicurezza, la quale può essere letta in termini di affidabilità del tracciato [5]: l'affidabilità della percorrenza di un tronco stradale non è una proprietà intrinseca alla strada, ma è funzione del comportamento non prevedibile degli utenti, che al pari dei carichi su di una struttura, agiscono in maniera non uniforme e casuale.

Nel calcolo dell'affidabilità strutturale [3,4] la descrizione del fenomeno viene effettuata analizzando da una parte i carichi (o le combinazioni di carico) che sollecitano la struttura, e dall'altra le resistenze strutturali, sintetizzando attraverso modelli probabilistici le incertezze nella determinazione sia degli uni sia delle altre.

Indicando con  $R$  la resistenza ultima e con  $S$  la sollecitazione, è chiaro che il collasso della struttura si verifica nel momento in cui

$$R - S < 0 \quad (1)$$

Note che siano le funzioni di distribuzione  $FR(x)$  delle resistenze e  $FS(x)$  delle sollecitazioni, allora la probabilità di collasso  $P_c$  risulta

$$P_c = P(R - S < 0) = \int_0^{+\infty} fs(x) FR(x) dx = \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} fs(x) fr(x) dx dx \quad (2)$$

Dove  $fs$  ed  $fr$  rappresentano rispettivamente la densità di distribuzione di probabilità dei carichi e delle forze resistenti.

La condizione perché sia valida la relazione (2) è l'indipendenza delle variabili  $R$  e  $S$ . L'equazione esprime la probabilità totale di collasso  $P_c$  come prodotto delle probabilità di due eventi indipendenti, integrato su tutti i valori possibili.

L'affidabilità  $A$  è la probabilità che la struttura "sopravviva" quando è applicato un carico, ed è data da

$$A(R - S > 0) = 1 - P_c = 1 - \int_0^{+\infty} FR(x) fs(x) dx \quad (3)$$

L'applicazione della teoria dell'affidabilità nel campo stradale [5, 6, 7, 8], richiede pertanto la condizione di indipendenza delle forze in gioco, in modo da dare origine a distribuzioni autonome.

L'analisi di affidabilità allo sbandamento in curva considera forze resistenti quelle di aderenza, longitudinale e trasversale, e forze sollecitanti quelle centrifuga e d'inerzia; ovviamente le variabili sono tutt'altro che indipendenti.

Quanto detto evidenzia che per poter applicare la teoria dell'affidabilità in ambito stradale, è necessario ricorrere a procedimenti di casualizzazione parziale, determinando di volta in volta scenari particolari e valutando per ogni scenario il valore di probabilità.

La sommatoria dei valori delle probabilità di tutti i possibili scenari deve dare valore unitario, nell'ipotesi che essi rappresentino tutte le modalità con cui si manifesta un evento certo. L'analisi è stata effettuata per classi di scenari in cui ciascuna grandezza presa in considerazione può assumere tutti i valori di un prefissato campo di variabilità.

La procedura operativa adottata è la seguente:

1. individuare uno *scenario*, contraddistinto oltre che dalla geometria della strada, da determinate condizioni atmosferiche e di portata di traffico;
2. rilevare le velocità con cui gli utenti attraversano più sezioni poste in curva e nel precedente rettilineo; dividere il campo delle velocità in un opportuno numero di intervalli e assumere le probabilità che le velocità ricadano in essi pari alle frequenze osservate. Ogni intervallo di velocità rappresenta quindi un *sottoscenario*, a cui viene attribuito un valore di probabilità che si verifichi.
3. definire altri sottoscenari relativi ad intervalli di decelerazioni fra due sezioni della strada; attribuire ad essi valori di probabilità desunte dalle frequenze delle velocità rilevate nelle sezioni;
4. determinare i valori della forza centrifuga e/o della forza d'inerzia relativi rispettivamente alle velocità e alle decelerazioni al centro di ogni intervallo; attribuire a tali forze i valori di probabilità dei relativi sottoscenari;
5. calcolare l'affidabilità per ogni sottoscenario, secondo la (3);
6. calcolare in base a tali valori l'affidabilità dell'intero scenario.

La distribuzione dei valori di velocità e di decelerazione dei veicoli nella percorrenza in curva e del rettilineo che la precede è stata ottenuta partendo da una serie di osservazioni sperimentali e utilizzando la teoria delle catene di Markov.

#### 4. L'ANALISI PROBABILISTICA: LE CATENE DI MARKOV

È noto che, nell'ipotesi di esperimenti e di variabile di tipo casuale, i possibili risultati  $E_1, E_2, E_3, \dots$  di una qualsiasi prova rappresentano eventi incompatibili (mutuamente esclusivi) a cui sono associate rispettivamente le probabilità  $p_1, p_2, p_3, \dots$ , che rimangono costanti ad ogni prova in quanto indipendenti. La probabilità di ottenere una data sequenza di risultati sarà calcolabile con la regola della moltiplicazione per eventi indipendenti ed il suo valore sarà dato dal prodotto delle probabilità dei risultati di ciascuna prova seguendo le regole degli eventi complessi.

La teoria delle catene di Markov semplici [9,10,11] assume invece che il risultato di ogni prova è fatto dipendere esclusivamente dal risultato della prova immediatamente precedente per cui al risultato  $E_k$  di una certa prova non può più associarsi una probabilità costante  $p_k$ , ma si deve associare una probabilità subordinata,  $p_{jk}$ , condizionata al verificarsi dell'evento  $E_j$  nella prova precedente.

Solo per la prova iniziale è lecito associare la probabilità assoluta  $a_i$  al verificarsi dell'evento  $E_i$  in quanto per esso la condizione subordinata non esiste.

I possibili risultati  $E_k$  vengono detti stati del sistema e la probabilità  $p_{jk}$  è detta probabilità di transizione dallo stato  $E_j$  allo stato  $E_k$ .

Con queste definizioni, è immediato calcolare la probabilità di una sequenza di risultati; se, per esempio, si effettuano due sole prove ottenendo il risultato  $E_j$  alla prima ed il risultato  $E_k$  alla seconda, la probabilità della sequenza  $E_j E_k$  sarà data da:

$$P(E_j, E_k) = a_i p_{jk}$$

Se invece si effettuano quattro prove ottenendo, nell'ordine i risultati  $E_j, E_k, E_r, E_s$ , si avrà evidentemente:

$$P(E_j, E_k, E_r, E_s) = a_i p_{jk} p_{kr} p_{rs}$$

E generalmente, se si effettuano  $n$  prove, si avrà:

$$P(E_0, E_1, \dots, E_{n-1}) = a_0 \sum_{i=1}^{n-2} p_{i, i+1} \quad (4)$$

avendo indicato, per convenzione, la prova iniziale come prova zero.

Una sequenza di sorteggi con risultati possibili  $E_1, E_2, \dots$  è detta catena di Markov se le probabilità delle sequenze sono date dalla (4), in termini di una distribuzione di probabilità  $\{a_i\}$  di ottenere l'evento  $E_i$  alla prova iniziale e probabilità subordinate costanti  $p_{jk}$  di ottenere l'evento  $E_k$  se nella prova precedente è stato ottenuto l'evento  $E_j$ .

La rappresentazione probabilistica complessiva (campo delle probabilità) dei possibili cambiamenti che avvengono durante il passaggio tra una prova e quella immediatamente successiva può essere rappresentata da tutti i possibili valori  $p_{jk}$ , che possono essere ordinati in una matrice delle probabilità di transizione,  $\{p_{jk}\}$ , detta anche matrice stocastica. Una tale matrice (finita o infinita) è una matrice quadrata formata da elementi non negativi e tale che la somma di tutti gli elementi di una riga generica valga uno:

$$\sum_k p_{jk} = 1 \quad (5)$$

La (5) esprime la certezza che al verificarsi di un evento  $E_j$ , nella catena di Markov, ne segua un altro tra tutti i possibili  $E_k$ .

L'insieme delle matrici stocastiche e la distribuzione iniziale di probabilità  $\{a_i\}$  definiscono quindi completamente una catena di Markov con stati  $E_1, E_2, \dots, E_n$ .

Tali matrici di transizione sono state utilizzate per correlare il valore di velocità in curva a quello del veicolo in rettilineo e seguire pertanto probabilisticamente il comportamento degli utenti.

## 5. RILEVAZIONI SPERIMENTALI

La definizione dello scenario costituisce il primo atto della procedura operativa adottata per il calcolo dell'affidabilità (cfr. §3).

Ogni scenario, inteso come insieme dei fattori che determinano per ogni situazione il comportamento degli utenti ed il conseguente stato di rischio, viene definito dai parametri geometrici e fisici sottoindicati:

- dal raggio di curvatura in asse carreggiata,
- dallo sviluppo del tratto curvilineo,
- dalla larghezza della corsia e della banchina laterale,
- dalla pendenza longitudinale e da quella trasversale,
- l'orientamento della curva nel verso di percorrenza esaminato (se destrorsa o sinistrorsa),
- la distanza di visuale libera,
- lunghezza del rettilineo che precede la curva,
- stato della pavimentazione, classificato come "buono, con manto pulito", "precario", quando è in condizioni di degrado e/o polveroso, "medio", quando sussistono dubbi per l'attribuzione ad una delle prime due classi, e "ottimo", qualora la pavimentazione è stata rifatta di recente,
- valore della portata oraria di traffico nel periodo di rilevamento, con percentuale di traffico pesante,
- dalle condizioni atmosferiche e di visibilità.

La scelta delle curve da esaminare, fra quelle della Provincia di Bari, è stata effettuata in modo da ottenere un ventaglio di valori di raggi variabili da 40 a 500 m.

I valori di velocità sono stati rilevati per mezzo di misuratori ad effetto Doppler, posizionati in due o tre sezioni. La prima è stata posta in rettilineo ad una distanza

dall'inizio della curva sufficiente ad assicurare che il veicolo non abbia in quel punto ancora iniziato la manovra di decelerazione.

L'altra o le altre due sezioni di rilevamento sono state posizionate fra l'inizio del tratto curvilineo e la sezione di vertice. Fra le due si è individuata la sezione in cui il passaggio avveniva con i valori più bassi di velocità.

La durata del periodo di rilevamento è variata da un minimo di un'ora, per le strade con portata elevata, ad un massimo di due, per le strade con scarso traffico, in modo da ottenere in tutti i casi un campione di dati significativo di minimo 120-130 passaggi.

Si riporta di seguito l'elenco delle curve prese in esame (tab. 3.1).

Num.	Data Rilevamto	Strada	Località	Progr. Km	Verso perc.	Orient. curva
1	19/07/01	SP 207	Circonvallaz. di Adelfia	1+320	antior	sinist.
2	20/07/01	SP 156	Bitonto-Aer. Palese	5+720	→	sinist.
3	25/07/01	SP 110	Modugno-Carbonara	0+120	→	destra
4	30/07/01	SP 55	Molfetta-Bitonto	6+100	→	destra
5	11/09/01	SP 94	Casamassima- Noicattaro	1+980	→	sinist.
6	14/09/01	SP 58	Putignano-Sammichele	5+580	←	sinist.
7	19/09/01	SP 106	Gioia d. Colle-Putignano (1)	7+750	→	destra
8	19/09/01	SP 106	Gioia d. Colle-Putignano (2)	8+550	→	destra
9	27/09/01	SP 92	Bitritto-Modugno (1)	3+530	←	destra
10	28/09/01	SP 92	Bitritto-Modugno (2)	2+540	→	destra

**Tab n. 3.1. Scenari esaminati**

Le condizioni meteorologiche durante le osservazioni sono sempre state di tempo buono. La superficie stradale sempre asciutta.

I valori dei parametri geometrici sono stati dedotti da rilievi GPS forniti dalla Provincia di Bari.

Sono riportati nella tab. n. 3.2, le caratteristiche delle curve e la posizione dei rilevatori di velocità.

Num.	Raggio curva (m)	Sviluppo curva (m)	Lunghezza rettilineo (m)	Pend.za longit. (%)	Pend. trasv. (%)	Stato della pavimentaz.	Posizione dei misuratori (***)	
							L <sub>1</sub> (m)	L <sub>2</sub> (m)
1	143.6	110.3	715.3	+(2-3)	4	buono	65,3	55,4
2	146.1	106.1	187.1	-(1,5-2)	4	precario	35,6	46,8
3	354.8	328.2	> 400	+(1-2)	3	buono	48,3	102
4	44.25	67.8	335.4	+(5-6)	6	ottimo	60	20
5	51.8	152.1	63.9	-(1,5-2,5)	5	medio	22	34,4
6	389.8	257.3	531.2	-(2-3)	3	buono	30,3	116
7	259.6	338.3	350,3(*)	+(4-5)	3	buono	66,4	31,4
8	460.3	269.7	379.8(**)	-(3-4)	3	buono	43	31,5
9	78.0	133.8	116.5	-(2,5-3)	5	medio	89	42
10	128.6	135.6	102.3	+(2-3)	4	buono	41,3	37,1

(\*) Con la presenza di una curva sinistrorsa a breve sviluppo ed ampio raggio.

(\*\*) Trattasi in realtà di una curva circolare sinistrorsa ad ampio raggio (R>2000 m).

(\*\*\*) L<sub>1</sub> rappresenta la distanza del rilevatore posizionato in rettilineo dall'inizio della curva.

L<sub>2</sub> rappresenta la distanza del rilevatore posizionato in curva dall'inizio della stessa.

**Tab. n. 3.2 Caratteristiche degli scenari**

Si è diviso il campo delle velocità rilevate nella generica sezione in un certo numero  $n$  di intervalli, con estremi superiori di valore in ordine crescente:

$$V_1 < V_2 < \dots < V_r < \dots < V_n,$$

individuando così in corrispondenza  $n$  sottoscenari, secondo quanto riportato al punto 2 del procedimento operativo per il calcolo dell'affidabilità (cfr. §3).

Si è indicato con:

- $V_r^{(1)}$  il valore dell'estremo superiore dell'intervallo  $r$ -esimo di velocità rilevata nella sezione in rettilineo (prima sezione),
- $a_r$  la frequenza rilevata per tale valore di velocità,
- $V_r^{(2)}$  il valore dell'estremo superiore dell'intervallo  $r$ -esimo di velocità rilevata nella prima sezione in curva (seconda sezione),
- $V_r^{(3)}$  il valore dell'estremo superiore dell'intervallo  $r$ -esimo di velocità rilevata nella seconda sezione in curva. (terza sezione).

Si sono determinate due matrici di transizione, la prima matrice è relativa al passaggio dalla sezione di rilevamento in rettilineo alla prima in curva, la seconda dalla prima alla seconda sezione in curva. I valori delle probabilità di transizione  $p_{jk}$  delle due matrici sono stati stimati dalla distribuzione di frequenze rilevate delle velocità nei relativi intervalli prefissati.

Poiché nei rilievi sperimentali si è osservato che la velocità nei passaggi dalla prima alla terza sezione non aumenta, la probabilità  $p(V)$  che, nella terza sezione di rilievo, la velocità ricada nell'intervallo di estremo superiore  $V_r$ , è la seguente:

$$p[V_1^{(3)}] = (a_1 p_{11}^1 p_{11}^2 + a_2 p_{21}^1 p_{11}^2 + \dots + a_n p_{n1}^1 p_{11}^2) + (a_2 p_{22}^1 p_{21}^2 + \dots + a_n p_{n2}^1 p_{21}^2) + \dots + (a_n p_{nn}^1 p_{n1}^2) = p_{11}^2 \sum_i a_i p_{i1}^1 + p_{21}^2 \sum_i a_i p_{i2}^1 + \dots + p_{n1}^2 a_n p_{nn}^1 = p_{11}^2 p[V_1^{(2)}] + p_{21}^2 p[V_2^{(2)}] + \dots + p_{n1}^2 p[V_n^{(2)}]$$

$$p[V_2^{(3)}] = p_{22}^2 P[V_2^{(2)}] + \dots + p_{n2}^2 P[V_n^{(2)}]$$

.....

$$P[V_n^{(3)}] = p_{nn}^2 P[V_n^{(2)}]$$

dove, oltre ai simboli già specificati,  $p_{jk}^1$  indica le probabilità relative alla prima matrice di transizione, e  $p_{jk}^2$  alla seconda.

## 6. VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER OGNI SCENARIO

Si sono considerate tre modalità di incidente in curva:

- sbandamento laterale per superamento del limite di aderenza trasversale,
- slittamento per superamento dell'aderenza longitudinale in fase di decelerazione,
- superamento del limite di aderenza per tentare l'arresto in presenza di un ostacolo improvviso.

Per ogni  $i$ -esimo sottoscenario (intervallo di velocità in curva) si è calcolata la probabilità dell'evento sbandamento  $p_{si}$ , considerando la forza di aderenza trasversale e la forza centrifuga calcolate per il valore al centro dell'intervallo, con le modalità illustrate nel relativo esempio numerico.

Il calcolo delle probabilità dell'evento slittamento longitudinale e impatto contro un ostacolo improvviso è riferito ad altri sottoscenari, relativi ad intervalli di decelerazioni, la cui definizione è effettuata nella terza fase del già detto procedimento operativo.

Per la loro definizione, si è ipotizzato che tutti i veicoli inizino a rallentare dopo aver superato il punto  $P_1$  del primo rilevatore in rettilineo, in una sezione, punto  $P_0$ , che, fra tutte quelle individuate osservando il comportamento degli utenti, corrisponde a quella più vicina all'inizio della curva. Si è rilevato inoltre per la maggior parte degli scenari esaminati, che quasi tutti i veicoli raggiungevano la velocità finale all'altezza del secondo rilevatore posizionato nel punto  $P_2$ . In questi casi, l'intervallo di velocità di rallentamento è uguale alla differenza delle velocità tra le due sezioni di rilevamento ( $\Delta V = V_1 - V_2$ ), mentre la lunghezza del tratto di decelerazione è pari alla distanza fra  $P_0$  e  $P_2$ .

E' stato sufficiente costruire una sola matrice di transizione, allorché il valore massimo e minimo di velocità per ogni veicolo è stato rilevato su sezioni contigue (prima e seconda sezione). Negli altri casi, è stato necessario effettuare il calcolo delle probabilità mediante due matrici di transizione, individuando in tal modo le decelerazioni dalla prima alla seconda sezione e da questa alla terza.

La probabilità di avere un valore  $DV$  di differenza di velocità fra due sezioni di rilevamento, si ottiene utilizzando la regola delle probabilità totali, sommando le probabilità delle varie modalità con cui  $DV$  è ottenuta. Ad esempio, la riduzione di 20 Km/h si verifica nei passaggi di velocità dagli intervalli 20-25 a 0-5 Km/h, 25-30 a 5 - 10 Km/h e così via. Il singolo addendo della somma è dato dalle probabilità composte, ottenute moltiplicando ogni valore della matrice colonna delle probabilità assolute  $a_i$  delle velocità nella prima sezione, con l'elemento di probabilità della matrice di transizione  $p_{ij}$ , corrispondente al passaggio di velocità dall'intervallo "i" all'intervallo "j". In definitiva la probabilità di avere un valore di variazione di velocità di  $DV$  sarà dato da:

$$p(DV) = \sum_i a_i p_{ij} \quad (6)$$

dove  $j$  è l'indice dell'intervallo, i cui valori differiscono dai valori dell'intervallo "i", di  $DV$ .

Per ogni s-esimo sottoscenario (valore della decelerazione in un dato intervallo) si è calcolata la probabilità dell'evento slittamento longitudinale  $p_{ss}$ , e impatto contro un ostacolo improvviso,  $p_{os}$ , considerando la forza di aderenza longitudinale e la forza di inerzia.

La probabilità dell'evento  $E_r$  (ad esempio sbandamento laterale) per il sottoscenario  $S_s$  (ad esempio per velocità comprese nell'intervallo 45-50 Km/h) sarà dato, per le regole delle probabilità composte e delle probabilità totali, dalla somma dei prodotti delle probabilità degli eventi nei singoli sottoscenari  $p_{rs}$  per la probabilità del verificarsi di questi  $p_s$ :

$$P(E_r, S_s) = \sum_r p_{rs} p_s \quad (7)$$

Per la modalità di impatto contro un ostacolo che appare all'improvviso, si dovrà considerare anche la probabilità  $p_o$  che l'ostacolo sia presente sulla traiettoria del veicolo, ovvero:

$$P(E_o, S_s) = p_o \sum_s p_{os} p_s \quad (7')$$

Nel seguito si riporta un esempio di valutazione del rischio per ciascuna delle tre situazioni.

## 6.1 Sbandamento trasversale

Determinata la probabilità di avere un dato valore di velocità nella sezione di rilievo, si sono confrontate, rispetto a questo valore, le due forze coinvolte nell'equilibrio. Si riportano i risultati delle elaborazioni relative allo scenario 5.

**Scenario 5. Strada Provinciale 94 - Casamassima-Noicattaro. Curva al Km 1+980.**

Per questo caso si sono rilevati i seguenti dati:

$R = 51,8 \text{ m}; \quad \text{tg} = 0,05 \text{ (pend. trasv.);} \quad \text{stato della pavimentazione "medio".}$

Si sono calcolati e confrontati i valori delle forze  $F_{cp}$ , componente della forza centrifuga parallela alla superficie stradale, ed  $F_{ad(tr)}$ , forza di aderenza trasversale, riferite entrambe alle probabilità  $p(DV)$  del verificarsi dei corrispondenti valori di velocità.

La forza di aderenza trasversale, note le condizioni della sovrastruttura, è stata valutata adottando per il coefficiente  $f_t$  l'andamento 3 riportato nella tab.2 e nel digramma di fig. 3.

DV(Km/h)	p(DV)	F <sub>cp</sub> (daN)	F <sub>ad(tr)</sub> (daN)
< 30	0.45	66.24	511.58
31-40	0.5	156.60	473.58
41-50	0.0438	272.78	445.91
51-60	0.0063	414.77	418.41
61-70	0	582.58	401.27
71-80	0	776.21	384.27
81-90	0	995.66	377.83

**Tabella 4 - Risultati per lo scenario 5**

Nell'ambito di ogni singolo sottoscenario, si sono considerati qualitativamente gli elementi di dispersione che influenzano rispettivamente la forza centrifuga e la forza di aderenza trasversale.

Pertanto si è adottata, per ogni sottoscenario, una distribuzione di tipo normale con valore medio delle forze quello calcolato al centro del relativo intervallo delle velocità ed una dispersione maggiore per la forza di aderenza.

Fra i sottoscenari dello scenario 5 per cui si ha  $p(DV)_i$  (probabilità di verificarsi) non nulla (cfr. tab. 4), l'unico sottoscenario che comporta rischio allo sbandamento diverso da zero è quello relativo all'intervallo di velocità 51 - 60 Km/h. Risulta:

$V^{(2)}$ (Km/h)	$p(V^{(2)})$	$F_c$ (daN)	$F_{ad(tr)}$ (daN)
60	0,00625	414,77	418,41

Dal grafico riportato (fig. n. 4) si evidenzia come le funzioni di densità di probabilità della forza centrifuga e della forza di aderenza risultino sovrapposte, originando valori di probabilità di sbandamento laterale  $p_s$  di un certo rilievo:

*Sottoscenario per velocità di 51-60 Km/h:*  $p_s(60) = 0,0365.$

La probabilità di sbandamento per lo scenario 5 sarà allora dato da:

$$P(E_s, S_5) = \sum_i p_{si} p_i = p_s(60) p(60) = 0,0365 \times 0,00625 = 0,0002281$$

Poiché questo comporta lo sbandamento di 2 veicoli su 10000 passaggi, saranno necessari interventi correttivi della configurazione geometrica di tale curva o comunque dispositivi atti a migliorare la sicurezza di circolazione.

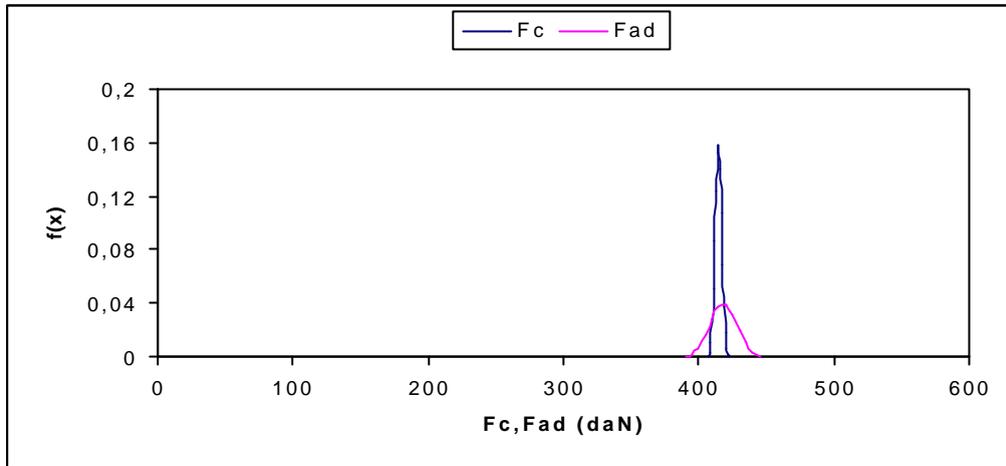


Figura 4. Distribuzioni di probabilità. Scenario n. 5. Velocità 60 Km/h

### 6.2. Slittamento longitudinale

Un altro aspetto che interessa la marcia di un utente che inizia a percorrere una curva è il confronto tra la forza di inerzia che si desta in fase di rallentamento e la forza di aderenza longitudinale.

*Scenario 9. Strada Provinciale 92. Bitritto-Modugno. Curva al Km 3+530.*

Per questo caso si sono rilevati i seguenti dati:

Spazio di deceleraz. = 47 m; Pend. longit.= -3%; Stato della pavimentaz. "medio".

I dati raccolti nella sezione di rilievo 1 e le relative frequenze sono risultati essere i seguenti:

classi V (Km/h)	< 30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80
<b>F(S1)</b>	2	2	4	5	10	14	15	8	8	3	1
<b>f(S1)=a<sub>i</sub></b>	0,028	0,028	0,056	0,069	0,139	0,194	0,208	0,111	0,111	0,042	0,014

Tab. 5 - Frequenze assolute e relative in rettilineo

La matrice di transizione rilevata risulta:

<b>DV<sup>(1)</sup> \ DV<sup>(2)</sup></b>	<b>0-15</b>	<b>16-20</b>	<b>21-25</b>	<b>26-30</b>	<b>31-35</b>	<b>36-40</b>	<b>41-45</b>	<b>46-50</b>	<b>51-55</b>
<b>0-30</b>	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0
<b>31-35</b>	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0
<b>36-40</b>	0,25	0	0	0,25	0,5	0	0	0	0
<b>41-45</b>	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0
<b>46-50</b>	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0	0
<b>51-55</b>	0,0714	0	0,0714	0,0714	0,3571	0,3571	0,0714	0	0
<b>56-60</b>	0	0,0667	0,0667	0	0,1333	0,5333	0,1333	0	0
<b>61-65</b>	0	0	0	0	0	0,125	0,875	0	0
<b>66-70</b>	0	0	0	0	0,125	0,125	0,625	0,125	0
<b>71-75</b>	0	0	0	0	0	0	0,6667	0	0,3333

Tab. 6 - Matrice di transizione relativa allo scenario 9.

Con il procedimento appena esposto, mediante la (6), si sono determinate le probabilità condizionali  $p(\mathbf{DV}_i)$  legate ad ogni classe di variazione di velocità tra la sezione di rilievo in rettilineo e quella in curva.

In base ai valori  $\mathbf{DV}_i$  e alla distanza fra le due sezioni di rallentamento, si sono determinate le decelerazioni e le forze d'inerzia. Queste hanno la stessa probabilità di verificarsi delle relative variazioni di velocità.

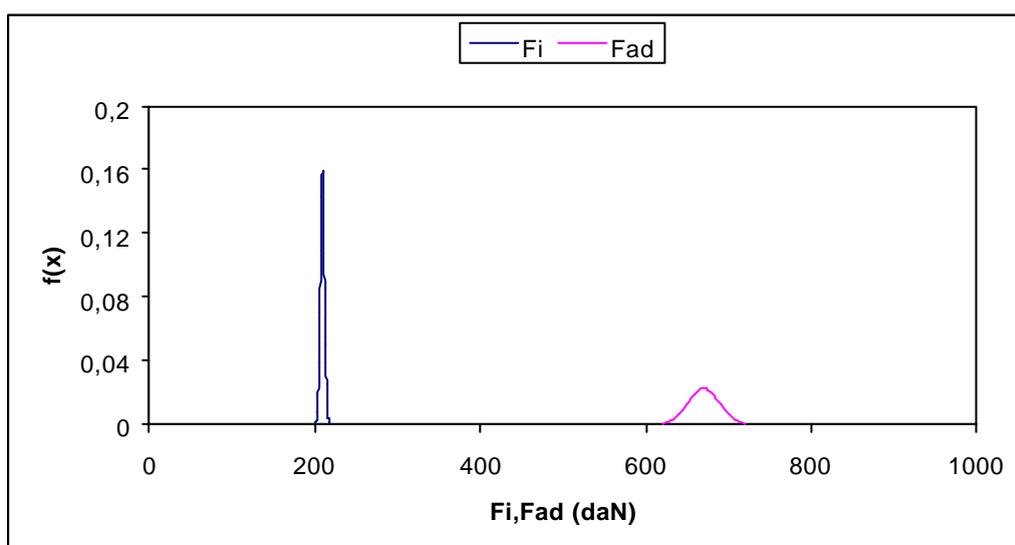
La forza di aderenza, per tale scenario, note le condizioni della sovrastruttura, è stata valutata secondo l'andamento 2 riportato nella tabella n. 1.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli delle forze ed i relativi valori di probabilità.

$\mathbf{DV}(\text{Km/h})$	$\mathbf{p}(\mathbf{DV})$	$\mathbf{d}(\mathbf{DV}) (\text{m/sec}^2)$ (decelerazione)	$\mathbf{Fi} (\text{daN})$	$\mathbf{Fad} (\text{daN})$
15	0,09722	0,02	2,09	730
20	0,08333	0,08	8,37	730
25	0,13887	0,51	52,30	730
30	0,33332	0,74	75,31	730
35	0,16665	1,01	102,50	715
40	0,06944	1,31	133,88	700
45	0,02778	1,66	169,44	685
50	0,04167	2,05	209,19	670

**Tabella 7 - Valutazione delle forze in gioco per lo slittamento longitudinale nello scenario 9**

La notevole differenza esistente fra la forza di aderenza longitudinale massima possibile e la forza d'inerzia (fig. n.5) porta a concludere che la curva in esame, in condizioni di superficie stradale asciutta, presenta la massima affidabilità allo slittamento longitudinale.



**Figura 5 Valutazione del rischio. Scenario n. 9. Decelerazione = 2,05 m/sec<sup>2</sup>.**

## 6.2. Presenza di un ostacolo improvviso

La presenza di un ostacolo improvviso durante la marcia rappresenta un elemento di forte pericolosità.

E' stata analizzata la condizione più pericolosa nell'ipotesi che l'utente inizi a frenare a partire dalla sezione di inizio del rallentamento in condizioni normali (punto P<sub>0</sub>) in cui il veicolo detiene la massima velocità pari a quella in rettilineo. L'ostacolo è stato posto al limite della distanza di visuale libera.

**Scenario 2.** Strada Provinciale 156 Bitonto-Aeroporto Palese. Curva al Km 5+720.

I dati sono:

Spazio di visuale lib.= 51,8 m Pend longit.= - 2%; Stato della pavimentaz. "precario"

Le frequenze nella sezione di rilievo 1 risultano essere pari a:

classi V (Km/h)	< 30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-75	76-80	81-85	86-90	>90
<b>F(S1)</b>	16	12	25	32	41	17	16	5	4	3
<b>f (S1) =a<sub>i</sub></b>	0,0936	0,0702	0,1462	0,1871	0,2398	0,0994	0,0936	0,0292	0,0234	0,0175

**Tab. 8- Frequenze assolute e relative in rettilineo**

Nella tabella 9 si riportano le decelerazioni e le forze in gioco per ogni intervallo.

	<b>d(DV)</b> (m/sec <sup>2</sup> ) (decelerazione)	<b>Fi</b> (daN)	<b>Fad</b> (daN)
<b>DV<sub>1</sub>=10 Km/h</b>	0,07	7,59	670
<b>DV<sub>2</sub>=20 Km/h</b>	0,30	30,37	670
<b>DV<sub>3</sub>=30 Km/h</b>	0,67	68,33	670
<b>DV<sub>4</sub>=40 Km/h</b>	1,19	121,47	650
<b>DV<sub>5</sub>=50 Km/h</b>	1,86	189,80	630
<b>DV<sub>6</sub>=60 Km/h</b>	2,68	273,32	590
<b>DV<sub>7</sub>=70 Km/h</b>	3,65	372,02	570
<b>DV<sub>8</sub>=80 Km/h</b>	4,77	485,90	540
<b>DV<sub>9</sub>=85 Km/h</b>	5,38	548,53	535
<b>DV<sub>10</sub>=90 Km/h</b>	6,03	614,97	530

**Tabella 9 - Valutazione delle forze in gioco nello scenario 2.**

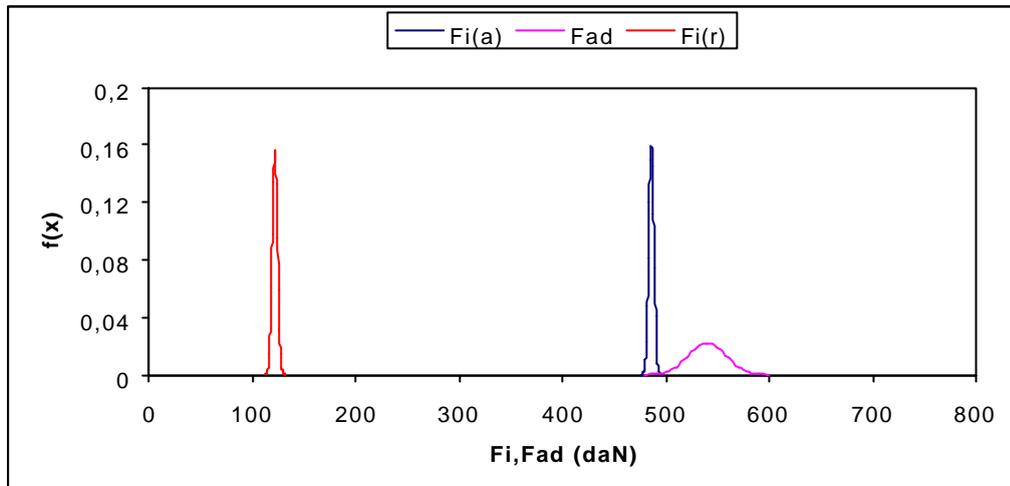
Come si evidenzia dalla tab. 8 sette utenti, su 171 rilevati, viaggiavano a velocità superiore a 85 Km/h. Per questi, risultando  $F_i > F_{ad}$ , si ha probabilità di impatto = 1.

Per un autoveicolo tipo che viaggia a 80 Km/h si ha  $F_i = 486$  daN, minore del valore  $F_{ad} = 540$  daN.

Effettuando una analisi alle differenze finite si è calcolata per la velocità iniziale di 80 Km/h una probabilità dell'evento collisione pari a

$$p_o(80) = 0,00026$$

Mentre dal confronto tra le forze in gioco per l'arresto a  $V = 75 \text{ Km/h}$ , la probabilità di collisione è risultata essere nulla.



**Figura 6. Scenario 2. Confronto fra forza di aderenza e forza di inerzia dovuta all'arresto per  $V_{in} = 85 \text{ Km/h}$ , e di rallentamento per pari  $V_{in}$  e  $DV = 40 \text{ Km/h}$ .**

La figura 6 evidenzia, a parità di forza di aderenza, la variazione di affidabilità nel passaggio dal caso di rallentamento al caso di arresto.

La probabilità di collisione, nell'ipotesi che l'ostacolo fosse presente sulla traiettoria dei veicoli, risulterebbe essere pari a:

$$\sum_i p_{oi} p_i = p_o(>85) p(>85) + p_o(80) p(75-85) = 1 \times 0,0409 + 0,00026 \times 0,1228 = 0,0410$$

Tale valore andrà moltiplicato per la probabilità della presenza dell'ostacolo sulla traiettoria  $p_o$  per ottenere il valore del rischio di impatto.

## 7. RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE

Il calcolo dell'affidabilità allo slittamento longitudinale per i comportamenti più a rischio riscontrati (massime decelerazioni rilevate), per tutte le curve esaminate, nelle condizioni di superficie asciutta, ha dato come risultato un valore di affidabilità  $A=1$ , ovvero la certezza che le decelerazioni che gli utenti sono soliti imprimere non provocano slittamenti nelle condizioni esaminate.

I risultati riguardanti la altre modalità di incidente, sono riportati in ordine di scenario con raggio di curva crescente.

### 7.1 Curve con raggio minore di 80 m.

I rilievi effettuati evidenziano che per le curve di raggio  $R < 80 \text{ m}$  (scenari 4, 5 e 9), l'utente percepisce una curva "stretta". Da qui la tendenza ad iniziare la manovra di rallentamento ad una distanza maggiore di quella per curve a più ampio raggio. In tali curve si riscontrano velocità contenute fra i 25 e 45 Km/h, ma con punte a rischio di 55 e anche 60 Km/h. In tali sottoscenari si è calcolata una probabilità allo sbandamento laterale dell'ordine di  $1 \div 4 \times 10^{-2}$ , ovvero su 100 veicoli che percorrono quelle curve a 60 Km/h, è da aspettarsi lo sbandamento di qualche unità.

Il calcolo del rischio, nell'ipotesi di conducenti costretti ad arrestarsi in curva per l'apparire di un ostacolo improvviso, ha dato valori non nulli per le curve degli scenari 4 e 9 (cfr. tab. 10), mentre ha fornito valore nullo per quella relativa allo scenario 5, ma solo perché la strada nel verso di percorrenza esaminato è in salita (ciò comporta anche minori velocità in rettilineo per gli utenti) e la curva essendo sinistrorsa offre una più ampia distanza di visibilità per l'arresto.

Scenario	Raggio (m)	Sbandamento	Slittam. long.	Ostacolo improv.
4	44.3	$8 \times 10^{-5}$	0	$15 \times 10^{-2}$
5	51.8	$2 \times 10^{-4}$	0	0
9	78.0	$8 \times 10^{-5}$	0	$7 \times 10^{-8}$
10	128.6	0	0	0
1	143,6	$1 \times 10^{-7}$	0	$3 \times 10^{-8}$
2	146.1	0	0	$2 \times 10^{-2}$
7	259.6	0	0	$56 \times 10^{-2}$
3	354.8	0	0	0
6	389.8	0	0	0
8	460.3	0	0	$68 \times 10^{-2}$

**Tabella 10. Valori di rischio per le modalità di incidente considerate**

## 7.2 Curve a medio raggio

Per raggi maggiori di 120 m generalmente le probabilità allo sbandamento, calcolate in base ai valori di velocità rilevati, risultano nulle. Fa eccezione la curva relativa allo scenario 1 (R=143,6 m, Circonvallazione di Adelfia), dove si sono riscontrate velocità di 80 Km/h. Nelle altre due curve con raggio intorno ai 130÷150 m (scenari 10 e 2), le velocità in curva non hanno superato i 70 Km/h. Tale diverso comportamento nelle scelte delle velocità di percorrenza può essere spiegato con la diversa lunghezza dei rettilineo precedenti le curve. Notevole quella del rettilineo sulla Circonvallazione di Adelfia (715 m circa) rispetto alle lunghezze degli altri due (102 e 187 m circa). Per tale scenario il valore della probabilità di sbandamento laterale è risultato essere dell'ordine di grandezza di  $10^{-7}$  (cfr. tab. 10).

Nelle ipotesi di conducenti costretti ad arrestarsi in curva per l'apparire di un ostacolo improvviso, si sono calcolati per le due curve sinistrorse relative agli scenari 1 e 2, valori di probabilità di impatto rispettivamente pari a  $3 \times 10^{-8}$  e  $2 \times 10^{-2}$ . Tale diverso ordine di grandezza dipende dalla minore distanza di visibilità per l'arresto dello scenario n. 2 rispetto al n. 1, e dal diverso stato della pavimentazione, classificato come "precario" per lo scenario n. 2 e "buono" per il n. 1.

Per lo scenario n. 10 è stato invece calcolato un valore di affidabilità uguale ad 1, in conseguenza del fatto che le velocità tenute dagli utenti, nel verso di percorrenza esaminato, sono minori rispetto a quelle riscontrate negli altri due scenari con raggi dello stesso ordine di grandezza. La spiegazione del diverso comportamento degli utenti sta nel fatto che la curva esaminata nello scenario 10, si presenta a ridotta visibilità e destrorsa, per cui l'utente diminuisce la sua velocità in primo luogo perché non vede la strada che dovrà percorrere e poi perché non può "tagliare la curva".

Per l'unica curva esaminata di raggio intorno ai 250 m (scenario 7) sono state rilevate velocità massime sia in curva che nel precedente rettilineo di 95 Km/h circa. Il calcolo della probabilità di impatto ha dato risultati che dovrebbero portare ad una riflessione sull'elevato rischio correlato a comportamenti grandemente diffusi. La curva in esame è

destrorsa. La distanza di visibilità per l'arresto è di appena 36,4 m. E' stata calcolata per lo scenario in esame una velocità limite per l'impatto di circa 71 Km all'ora. Su 106 rilievi effettuati, 59, pari al 56% circa, sono risultate maggiori della velocità limite suddetta. Più della metà degli utenti avrebbe impattato per l'improvviso apparire di un ostacolo.

### **7.3 Curve con raggio maggiore di 350 m.**

Le curve caratterizzate da raggi  $R > 350$  m hanno evidenziato che i conducenti tendono a rallentare più tardi, in quanto reputano meno pericolosa la situazione, e concludono la manovra di rallentamento a circa metà dello sviluppo della curva. Per le curve esaminate, le velocità massime rilevate aumentano sia all'aumentare del raggio che al diminuire della pendenza longitudinale. Per la curva sulla Prov. Modugno-Carbonara (scenario n. 3), si riscontrano velocità massime, sia in curva che nel rettilineo, minori rispetto ai valori della precedente curva considerata (scenario n. 7,  $R=250$  m), nonostante il raggio maggiore ( $R = 354$  m) e la pendenza longitudinale minore. Ciò è da attribuire alla circostanza che la curva in considerazione è vicina al centro abitato di Modugno, in un tratto di strada con alcuni accessi laterali ed intenso traffico. Le massime velocità rilevate sono di 85 Km/h nel rettilineo e di 68 Km/h in curva. In tali condizioni di velocità si ha la massima affidabilità ( $A=1$ ) anche per l'arresto in presenza di un ostacolo improvviso.

Non così per la curva destrorsa dello scenario 8. Infatti per la ridotta distanza di visibilità ( $D_a = 36,5$  m) si è calcolata una velocità limite di 71 Km/h circa. L'ampiezza del raggio però rende possibili velocità ben maggiori, senza pericolo di sbandamento. Su 106 dati di velocità rilevati, 72 veicoli hanno percorso la curva con velocità maggiore di 71 Km/h, con probabilità di impatto, nel caso in cui fosse presente un ostacolo sulla corsia di marcia, del 68% circa.

## **8. CONCLUSIONI**

E' nota l'esistenza di una interazione tra caratteristiche di scenario e comportamento dell'utente: questi adeguano il suo comportamento in relazione a quanto percepito dello scenario in cui si muove.

Una prima osservazione di carattere generale che si può dedurre dai risultati della sperimentazione effettuata riguarda la "percezione" locale del contesto infrastrutturale da parte dell'utente. Quest'ultimo non sempre riesce a percepire le reali situazioni di rischio. Si determina una situazione di pericolosità tutte le volte che l'utente non ottiene una sufficiente quantità di informazioni dal contesto al quale si relaziona. La valutazione del rischio può essere effettuata basandosi sul comportamento "osservato" degli utenti, attraverso misurazioni di grandezze, quali la velocità dei veicoli.

La metodologia utilizzata per la valutazione del rischio consente di definire e porre in atto provvedimenti miranti a ridurre la probabilità di incidente (limitazioni di velocità, sbancamenti di trincea, modifiche di asse ecc.) e di conseguenza migliorare le condizioni di sicurezza.

La stessa metodologia potrebbe essere utilizzata per valutare le condizioni di rischio in tutte le situazioni in cui si verificano variazioni di velocità di tipo sistematico (intersezioni, corsie di scambio, variazioni di pendenza longitudinale ecc.).

La sperimentazione andrebbe estesa anche al caso di pavimentazione bagnata e condizioni meteorologiche particolari (pioggia, nebbia ecc.).

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] P. FERRARI- F. GIANNINI- Ingegneria stradale- Geometria e progetto di strade- Vol. 1- ISEDI
- [2] E. STAGNI- Meccanica della locomozione- PATRON- Bologna 1971
- [3] P.T.CRISTENSEN, M.J.BACHER- Structural reliability theory and its application- SPRINGER, VERLAG 1982
- [4] G. GATTI: Caratteristiche di affidabilità di un itinerario stradale. Convegno A.I.P.C.R. Trieste 1990.
- [5] E. CAVUOTI: Affidabilità del percorso. Convegno A.I.P.C.R. Perugia 1994
- [6] G. GATTI. E. CAVUOTI: Valutazione dell'incidentalità di un itinerario stradale mediante la metodologia "fuzzy". Convegno S.I.I.V. Pisa, ottobre 1997.
- [7] G. GATTI, E. CAVUOTI: "La sicurezza di un itinerario stradale espressa come affidabilità della sua percorrenza". Convegno S.I.I.V. Milano, 19-20 Ottobre,1998.
- [8] G. GATTI, E. CAVUOTI, R.C. SIGNORILE, "Confronto tra metodologia fuzzy e reti neurali per la valutazione dell'incidentalità stradale". Riv."Strade & Autostrade", n.3. Maggio, giugno 2000.
- [9] P.GALEOTTI - Calcolo della probabilità e statistica - Levrotto & Bella- Torino 1976.
- [10] J.G. KEMENY, A. SCHLEIFER, J.H. SHELL, G.L. THOMPSON: "Les mathematiques modernes dans la pratique des effoires". Dunod. Paris. 1964.
- [11] M. GIRAULT "Processus aleatoires". Dunod. Paris. 1965.

*Ha collaborato nei rilevamenti dei dati sperimentali e nelle calcolazioni il Dott. Ing. Vito Caserta.*