



# Modello Fuzzy di calcolo della distanza di visibilità per il sorpasso su strade extraurbane ad unica carreggiata bidirezionali

Ing. Gaetano Di Mino\*

## PREMESSA

Lo studio di modelli teorici che ben rappresentino, nella loro articolazione, le manovre di guida in sede stradale è da sempre un esercizio tanto praticato quanto complesso.

La difficoltà di delineare compiutamente tali manovre, di definirne l'interazione cinematica dei veicoli coinvolti è comprovata dalla varietà di modelli presenti in letteratura.

Con il presente lavoro ci si propone di pervenire alla formulazione di un modello originale di calcolo della distanza di visibilità per il sorpasso su strade bidirezionali ad unica carreggiata, il quale tenga debitamente conto del coacervo delle variabili cinematiche, meccaniche, geometriche, ambientali e di traffico, così come del comportamento umano, che sinergicamente concorrono a determinare la fenomenologia di manovra.

Tale obiettivo si profila dopo avere constatato quali e quanti siano in campo internazionale, i modelli normativi vigenti e ancora quelli di più recente e innovativa concezione.

La multiforme gamma di modelli conduce inevitabilmente a valori di distanza di visibilità per il sorpasso che variano sensibilmente, talvolta in modo sorprendente, a seconda che se ne consideri uno piuttosto che un altro.

Ciò è concettualmente poco plausibile, alla luce della pressoché globale omogeneizzazione, su scala internazionale, delle grandezze fisiche e meccaniche in gioco e impone uno sforzo ulteriore di analisi della manovra e della sua cinematica.

L'interesse prettamente scientifico, inoltre, si coniuga a ragioni di carattere economico-sociale e progettuale: l'evoluzione dell'incidentalità sulle strade extraurbane ascrivibile all'errata effettuazione della manovra e il rilievo che la distanza di visibilità per il sorpasso assume ai fini della determinazione di elementi planimetrici e altimetrici del tracciato.

## 1. IMPLICAZIONI PROGETTUALI DELLA DISTANZA DI VISIBILITÀ PER IL SORPASSO

Le strade ad unica carreggiata con due corsie, una per direzione di marcia, costituiscono in estensione la maggior parte dei sistemi stradali nazionali, e in tal senso l'Italia non fa certo eccezione.

Queste assolvono alla mobilità con funzione di transito, scorrimento, distribuzione e penetrazione ed accesso del traffico veicolare in relazione a una gerarchia decrescente di importanza infrastrutturale.

La loro localizzazione territoriale è capillare, servendo ingenti quote di traffico e un'utenza dalle svariate esigenze di spostamento.

Tali strade, però, la cui realizzazione, nella maggioranza dei casi è antecedente agli anni '60, nonostante gli interventi di adeguamento funzionale sulla rete, non rispondono in modo soddisfacente all'attuale domanda di trasporto, a causa della loro obsoleta concezione progettuale e dell'incremento inarrestabile dei volumi di traffico.

L'Highway Capacity Manual, per descrivere e misurare la qualità della circolazione sulle strade extraurbane adotta tre parametri:

- ♦ La velocità media di viaggio;
- ♦ La percentuale di tempo di ritardo;
- ♦ L'utilizzazione della capacità.

Se ne deduce che la corretta progettazione di rettifili, opportunamente e frequentemente ubicati lungo il tracciato, è un'azione fondamentale per garantire la fluida circolazione di elevati volumi di traffico, determinando la riduzione del tempo di ritardo.

Poiché proprio in corrispondenza di questi elementi planimetrici sono previste le manovre di sorpasso, l'inerente distanza di visibilità è il parametro essenziale per dimensionarli in modo idoneo.

Il modello assunto in fase di progettazione pregiudica il conseguimento o meno di ammissibili livelli di qualità di marcia: quelli geometricamente più restrittivi, prevedendo rettifili eccessivamente lunghi, preludono a incrementi del costo di costruzione non proporzionati ai connessi benefici di comfort e sicurezza; anzi, si può ritenere che un eccessivo coefficiente di sicurezza possa rivelarsi un boomerang, inducendo l'utente a comportamenti improntati all'accettazione di rischi altrimenti inaccettabili.

Invece, altri modelli meno cautelativi rendono la strada da realizzare intrinsecamente insicura, avendo codificato l'eventualità di sorpasso ove in realtà questa è pericolosa.

L'influenza della distanza di visibilità per il sorpasso si estende anche nell'ambito del dimensionamento dei raccordi altimetrici, per i quali il suo valore è discriminante, qualora si intenda consentire la manovra in corrispondenza di tali elementi.

Possono trarsi considerazioni analoghe alle precedenti: la scelta di curve di raggio amplissimo può tradursi in oneri economici aggiuntivi ai quali non corrisponde, a partire da una certa soglia, un effettivo miglioramento delle condizioni di sicurezza; di contro raggi eccessivamente contenuti prefigurano scenari non idonei o perfino insidiosi per lo svolgimento della manovra.



## 2. INCIDENTALITÀ ASCRIVIBILE ALLA MANOVRA DI SORPASSO

### 2.1. Dati di rilevamento degli incidenti

Per lo studio affrontato, in mancanza di dati più raffinati concernenti la dinamica di sinistro piuttosto che il suo esito e nella consapevolezza che occorre fotografare la dimensione e la tendenza del fenomeno piuttosto che la sua concentrazione territoriale, si è attinto alla fonte costituita dagli annuari dell'ISTAT-ACI e dalla banche-dati a disposizione sui siti Internet dell'ISTAT e dell'EURISPES.

Sono stati analizzati i dati complessivi degli ultimi cinque anni elaborati, cioè dal 1995 al 1999, e, per evidenziare la pericolosità degli incidenti più direttamente correlabili alla manovra di sorpasso, si sono presi in esame quelli catalogati come "incidenti tra i veicoli in marcia" e, in particolar modo, dovuti allo scontro frontale.

Le valutazioni operate sono affette da una sottostima<sup>(1)</sup> delle frequenze degli eventi incidentali come, del resto dell'entità delle conseguenze; tuttavia, piuttosto che procedere ad una stima plausibile e comunque opinabile dei dati, si ritiene metodologicamente più corretto limitarsi alle informazioni direttamente desumibili dagli annuari. I dati riportati in seguito sono divisi per le seguenti categorie di strada: Autostrade (A), Strade Statali (S.S.), Strade Provinciali (S.P.), Strade Comunali Extraurbane (S.C.E.), Strade Urbane (U).

Per tratteggiare il fenomeno e la sua caratteristica evolutiva sono stati riportati i dati relativi:

- ♦ Al numero totale di incidenti nonché quello dei feriti e dei morti, per ognuna delle categorie stradali sopra elencate;
- ♦ Al numero totale di incidenti, morti e feriti nelle S.S., S.P. e nelle S.C.E. con la relativa indicazione percentuale rispetto al totale;
- ♦ Al numero totale di incidenti tra veicoli (di cui fa parte la tipologia di incidente "scontro frontale") con relativo ammontare di morti e feriti con la stima della percentuale di tali incidenti sui tratti della rete rispondenti alla configurazione in esame;
- ♦ Al numero totale di incidenti per scontro frontale con relativo ammontare di morti e feriti.

Anno	A.	S.S.	S.P.	S.C.E.	U.	Totale rete	SS + SP + SCE
1995	10.860	18.951	11.733	7.366	133.851	182.761	38.050
	5,9%	10,4%	6,4%	4,0%	73,2%	100,0%	20,8%
1996	11.546	19.224	12.144	7.333	133.168	183.415	38.701
	6,3%	10,5%	6,6%	4,0%	72,6%	100,0%	21,1%
1997	11.381	17.961	11.835	7.121	141.733	190.031	36.917
	6,0%	9,5%	6,2%	3,7%	74,6%	100,0%	19,4%
1998	13.836	18.683	12.083	7.101	152.912	204.615	37.867
	6,8%	9,1%	5,9%	3,5%	74,7%	100,0%	18,5%
1999	14.147	19.690	13.930	7.793	163.472	219.032	41.413
	6,5%	9,0%	6,4%	3,6%	74,6%	100,0%	18,9%

Anno	Incidenti su S.S. + S.P. + S.C.E.			
	Tra veicoli (stimati)		Per scontro frontale	
	n°	n°	% assoluta	% relativa
1995	28.616	14.789	38,9%	51,7%
1996	29.080	14.825	38,3%	51,0%
1997	27.964	14.402	39,0%	51,5%
1998	27.343	15.611	41,2%	57,1%
1999	31.512	16.115	38,9%	51,1%

Tabella 1a  
Riepilogo incidenti

Tabella 1b  
Riepilogo incidenti

(1) La classificazione secondo il modulo ISTAT prevede anche la modalità di sinistro "frontale-laterale". Una quota di questo insieme è ancora ascrivibile alla manovra in ragione del rientro anticipato in corsia di pertinenza del veicolo sorpassante, ma la semplice tipologia di impatto non consente, in assenza di altre informazioni, di stabilire numericamente tale percentuale.

Sono state così calcolate le percentuali degli incidenti imputabili al debito di distanza di visibilità per il sorpasso rispetto agli incidenti coinvolgenti almeno due veicoli sulle strade extraurbane e rispetto alla totalità degli incidenti sulle medesime strade.

Anno	A.	S.S.	S.P.	S.C.E.	U.	Totale rete	SS + SP + SCE
1995	725	1.627	1.034	472	2.654	6.512	3.133
	11,1%	25,0%	15,9%	7,2%	40,8%	100,0%	48,1%
1996	698	1.489	1.039	334	2.633	6.193	2.862
	11,3%	24,0%	16,8%	5,4%	42,5%	100,0%	46,2%
1997	787	1.495	1.008	363	2.573	6.226	2.866
	12,6%	24,0%	16,2%	5,8%	41,3%	100,0%	46,0%
1998	660	1.362	899	345	2.591	5.857	2.606
	11,3%	23,3%	15,3%	5,9%	44,2%	100,0%	44,5%
1999	801	1.581	1.075	429	2.747	6.633	3.085
	12,1%	23,8%	16,2%	6,5%	41,4%	100,0%	46,5%

Tabella 2a  
Riepilogo morti

Anno	Morti su S.S. + S.P. + S.C.E. per incidenti			
	Tra veicoli (stimati)		Per scontro frontale	
	n°	n°	% assoluta	% relativa
1995	1.815	1.083	34,6%	59,7%
1996	1.652	1.041	36,4%	63,0%
1997	1.647	1.031	36,0%	62,6%
1998	1.455	957	36,7%	65,8%
1999	1.804	1.142	37,0%	63,3%

Tabella 2b  
Riepilogo morti

Anno	A.	S.S.	S.P.	S.C.E.	U.	Totale rete	SS + SP + SCE
1995	19.116	31.653	18.509	10.955	179.388	259.621	61.117
	7,4%	12,2%	7,1%	4,2%	69,1%	100,0%	23,5%
1996	20.305	32.424	19.116	10.977	181.391	264.213	62.517
	7,7%	12,3%	7,2%	4,2%	68,7%	100,0%	23,7%
1997	20.024	29.890	18.443	10.397	192.208	270.962	58.730
	7,4%	11,0%	6,8%	3,8%	70,9%	100,0%	21,7%
1998	24.356	30.849	18.925	10.450	209.262	293.842	60.224
	8,3%	10,5%	6,4%	3,6%	71,2%	100,0%	20,5%
1999	24.885	33.008	22.046	11.624	225.135	316.698	66.678
	7,9%	10,4%	7,0%	3,7%	71,1%	100,0%	21,1%

Tabella 3a  
Riepilogo feriti

Anno	Feriti su S.S. + S.P. + S.C.E. per incidenti			
	Tra veicoli (stimati)		Per scontro frontale	
	n°	n°	% assoluta	% relativa
1995	47.848	25.855	42,3%	54,0%
1996	49.084	25.969	41,5%	52,9%
1997	46.428	24.725	42,1%	53,3%
1998	45.548	26.583	44,1%	58,4%
1999	53.124	27.643	41,5%	52,0%

Tabella 3b  
Riepilogo feriti

### 2.2 Analisi degli incidenti

Dall'analisi dei dati relativi agli incidenti avvenuti in ambito nazionale negli ultimi 5 anni si rileva:

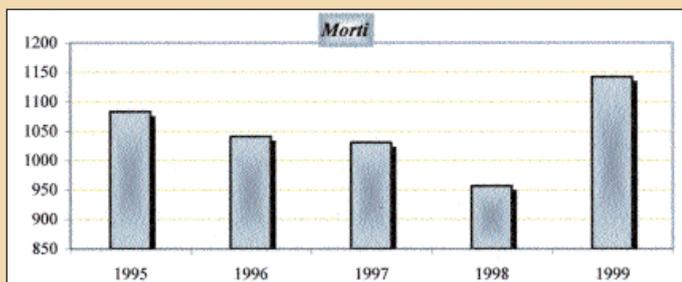
- ♦ Un tendenziale aumento, con un minimo in corrispondenza del 1997, del numero complessivo di incidenti sulla rete di interesse (con una media annua del 2,26%);
- ♦ Un altalenante andamento del numero dei morti sulla rete di interesse (0,20% di media annua) che comunque si è incrementato del 18,38% dal '98 al '99;
- ♦ Un tendenziale aumento del numero complessivo dei feriti sulla rete di interesse (media annua del 2,37%).

Per quanto attiene al sorpasso sulle strade extraurbane ad una carreggiata si è rilevato che:

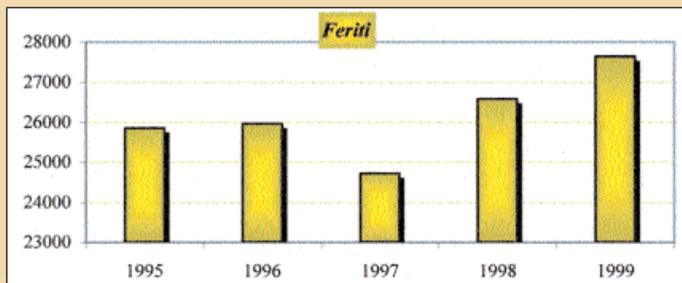
- ♦ Il numero degli incidenti è in tendenziale aumento, con un minimo relativo in corrispondenza del 1997, con incremento medio annuo 2,25%;
- ♦ Il numero dei morti è altalenante; si registra comunque un incremento medio annuo del 1,83% ed un preoccupante incremento del 19,33% dal '98 al '99;



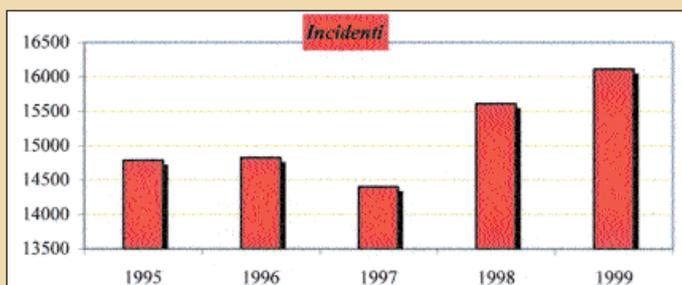
♦ Il numero dei feriti è in tendenziale aumento con una media annua dell'1,78% ed un picco di incremento del 7,51% dal '97 al '98.



Mortalità per scontro frontale



Vulnerabilità per scontro frontale



Incidentalità per scontro frontale

Dal quadro che si raffigura emerge una consistenza preoccupante del fenomeno dell'incidentalità nella sua globalità.

In merito allo specifico aspetto affrontato è possibile trarre alcune considerazioni di una certa pregnanza:

- ♦ A fronte di una quota relativamente contenuta di incidenti, pari a circa un quinto del totale, verificatisi sulla rete extraurbana, questa asurge al poco lusinghiero primato di scenario principe di morti in seguito a sinistro;
- ♦ In questo scenario, alla manovra di sorpasso, secondo la categoria di classificazione dei sinistri "scontro frontale", sono imputabili più di un terzo degli incidenti, dei morti e dei sinistri;
- ♦ Tale categoria di sinistro, peculiare di una rete mostratasi intrinsecamente insidiosa, contribuisce in modo cospicuo all'ammontare dei danni, soprattutto in termini di gravità delle conseguenze, essendo peraltro prevalente in relazione agli incidenti che coinvolgono più di un veicolo.

L'analisi, fin qui operata, conferma la necessità di approfondire l'indagine scientifica concentrandosi sulla cinematica della manovra, sulla revisione dei valori attribuiti ai parametri tecnici e sulle implicazioni di carattere progettuale, per individuare quelle incongruenze che si traducono in concause del sinistro, che è semplicistico addebitare in toto a comportamenti anomali dei conducenti e a insidie ambientali.

### 2.3 Valutazioni del rischio di incidente originato dalla manovra di sorpasso

Per meglio comprendere l'entità del problema è opportuno affrontare l'argomento avvalendosi della Teoria del Rischio, che permette di de-

finire nel dominio degli attributi misurabili, il rischio  $R$  correlato ad un dato evento, come il prodotto tra la probabilità  $P$  che tale evento si verifichi e la gravità o magnitudo  $M$  delle sue conseguenze:

$$R = P \times M$$

Secondo il principio essenziale della teoria frequentistica del rischio, la probabilità di un evento, può essere sostituita nella formula di calcolo dalla frequenza, intesa come il rapporto tra il successo dell'evento rispetto all'universo degli eventi possibili, atteso che siano disponibili un congruo numero di dati empirici o rilevati.

Nel caso specifico l'ipotesi di estesa piattaforma di dati è verificata e si può quindi definire la probabilità come il rapporto tra gli incidenti per scontro frontale e gli incidenti complessivi su rete extraurbana (frequenza assoluta) ovvero tra i primi e gli incidenti esclusivamente tra veicoli sulla medesima rete (frequenza relativa).

La magnitudo è stata espressa in termini monetari facendo riferimento alle stime dell'European Traffic Safety Council 1997 che stabiliscono il valore di ciascun morto e ferito evitato.

Secondo tali stime, che tengono conto della perdita di produttività lavorativa, dei costi sanitari, dei danni materiali, della congestione del traffico, nonché delle pene e delle sofferenze, il valore economico di un morto è pari 1,1 milioni di Euro (a 2,2 miliardi di Lire) e quello di un ferito è pari a 25.000 Euro (50 milioni di Lire).

Raffrontando l'incidentalità totale sulle S.S., S.P. e S.C.E., con l'incidentalità, verificatasi nelle stesse strade, considerando i sinistri correlabili alla distanza di visibilità per il sorpasso, alla luce di quanto detto si sono ottenuti i risultati riportati nella tabella sottostante, in cui si è calcolata la gravità dell'incidente adoperando la seguente:

$$M = P_m \times C_m + P_f \times C_f$$

in cui:

$M$  = Gravità dell'evento incidentale;

$P_m$  = Numero morti;

$C_m$  = 1.100.000 €, valore monetario attribuito ad un morto;

$P_f$  = Numero feriti;

$C_f$  = 25.000 €, valore monetario attribuito ad un ferito;

e si sono così ottenuti i seguenti valori:

incidenti per sorpasso su SS+SP+SCE		Gravità [€]	incidenti totali su SS+SP+SCE		Gravità [€]	% di gravità del sorpasso sul totale
morti (P <sub>m</sub> )	feriti (P <sub>f</sub> )		morti (P <sub>m</sub> )	feriti (P <sub>f</sub> )		
1083	25855	1.837.675.000	3133	61117	4.974.225.000	37%
1041	25969	2.229.925.000	2862	62517	4.711.125.000	47%
1031	24725	1.752.225.000	2866	58730	4.620.850.000	38%
957	26583	1.717.275.000	2606	60244	4.372.700.000	39%
1142	27643	1.947.275.000	3085	66678	5.060.450.000	38%
1130	26155	1.896.950.875	2910	61857	4.748.059.915	40%

Tabella 4 - Gravità dell'evento incidentale sulle strade extraurbane

Dai valori in tabella si deduce che, a fronte di una quota intorno al 39% su base quinquennale di frequenza di incidente per scontro frontale, la gravità relativa si situa intorno al 40%, dimostrando così la rilevanza in termini di conseguenze monetizzate.

La sintesi grafica delle elaborazioni eseguite è riportata nei diagrammi seguenti nei quali si apprezza l'andamento, nel corso del periodo di osservazione prescelto, del rischio assoluto e relativo, in accordo alle definizioni formulate prima riguardanti le frequenze, e degli incidenti, dei morti e dei feriti originati dalla manovra di sorpasso.

Il rischio assoluto denuncia valori in sostanziale crescita negli ultimi due anni di riferimento, sfiorando, nel 1999, la soglia dei 760.000.000 €; quello relativo il 1.000.000.000 €.

Si è inoltre formalizzato un altro indicatore denominato IMSV, che lega gli incidenti per scontro frontale al parco veicolare italiano relativo ai mezzi generalmente coinvolti in tale tipo di sinistro.

Il suo tendenziale decremento non deve trarre in inganno: attesta soltanto che il parco veicolare cresce con maggiore rapidità di quanto aumentino i sinistri.

E' comunque significativo rilevare che vi sono su base quinquennale mediamente quasi 5 incidenti per scontro frontale per ogni 10.000 veicoli immatricolati.

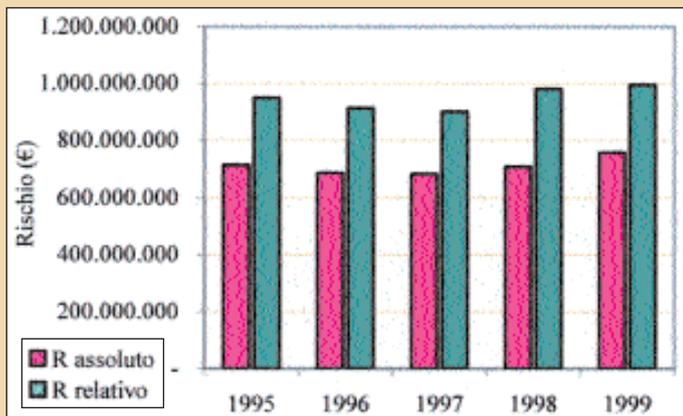


Figura 1 - Valori del rischio

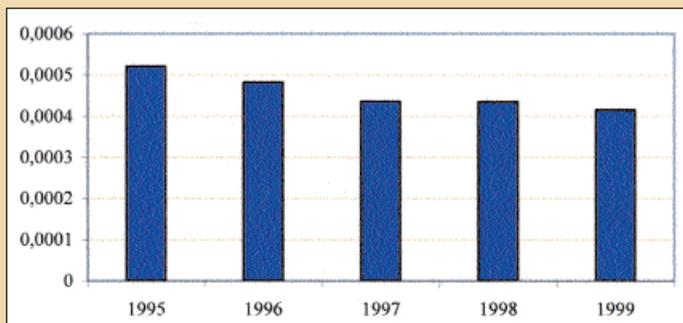


Figura 2 - Indicatore di rischio di incidente correlato alla manovra di sorpasso riferito ai veicoli immatricolati: *Imsv*

### 3. RASSEGNA E ANALISI DEI MODELLI NORMATIVI E DECISIONALI (POSIZIONE CRITICA)

I modelli<sup>(2)</sup> normativi in ambito internazionale possono sostanzialmente suddividersi, in base alla modalità cinematica della manovra ipotizzata, in due classi:

- ◆ Modelli in velocità;
- ◆ Modelli in accelerazione.

In relazione al campione prescelto, per quanto concerne l'Italia, l'Inghilterra e la Svizzera le norme tecniche per il calcolo della distanza di visibilità per il sorpasso presuppongono che la manovra avvenga in velocità (*flying passes*); le norme tedesche e statunitensi, invece, prevedono che la manovra avvenga in accelerazione mentre quelle francesi, prescrivono una distanza minima fissa di visibilità (500 m) per la

(2) Il campione analizzato è costituito dai modelli vigenti in Italia (Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" CNR - 1995), Inghilterra (Departmental Standard TD9/81. Road layout and geometry highway link design - TD9/81, Department of Transport 1981), Svizzera (Norme Suisse - VSS 1996), Germania (Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS-L 1995), Stati Uniti (A policy on geometric design of highways and streets - AASHTO-1994) e Francia (Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des routes nationales-1994).

quale si ritiene che almeno la metà dei sorpassi effettuati sia svolta in sicurezza.

Da una prima disamina dei modelli, a prescindere dai valori deducibili, si nota come la modalità in accelerazione rispecchi con maggiore verosimiglianza la generalità delle manovre di sorpasso condotte su strade bidirezionali ad unica carreggiata; la modalità in velocità è plausibile quando si verificano particolari condizioni di marcia, regolate sostanzialmente da trascurabili interferenze tra i flussi veicolari delle opposte corsie.

Sinteticamente emerge che i valori di calcolo dei tempi di manovra discendono essenzialmente da osservazioni sperimentali; in genere la velocità iniziale del veicolo sorpassante è assunta pari alla velocità di progetto dell'elemento di tracciato scenario della manovra, ovvero ad una sua aliquota tranne che in due casi: il modello tedesco e quello statunitense<sup>(3)</sup>.

Nessuno dei modelli esaminati contempla nella sua formulazione le grandezze della geometria longitudinale e trasversale nonché gli elementi inerenti la dimensione dei veicoli.

Dall'analisi statistica sul campione di modelli prescelto si ricava un coefficiente di variazione della distanza di visibilità per il sorpasso, per il dominio esplorato [40 Km/h; 120 Km/h] di velocità iniziale del veicolo sorpassante, oscillante da 0,38, in corrispondenza dell'estremo inferiore, a 0,16 per il superiore, con un coefficiente di variazione medio pari a 0,17: tali valori attestano la varietà dei diversi approcci concettuali al tema e l'eterogeneità dei valori attribuiti alle grandezze strategiche.

La normativa italiana, come si evince immediatamente dal diagramma sinottico appresso riportato, prescrive le minori distanze di visibilità nell'ambito del campione, con valori di scostamento percentuale rispetto alla medie internazionali che vanno dal 37%, per la velocità iniziale minima, al 7% per la massima (valore medio dello scostamento percentuale pari al 17%); gli scostamenti percentuali rispetto ai valori massimi della popolazione oscillano dal 56% al 18% (valore medio dello scostamento percentuale rispetto ai massimi pari al 28%).

Il dato di confronto fra l'Italia e gli altri paesi risulta ancor più interessante rilevando che gli scostamenti percentuali maggiori sia rispetto alle medie campionarie sia ai valori massimi, si riscontrano in corrispondenza

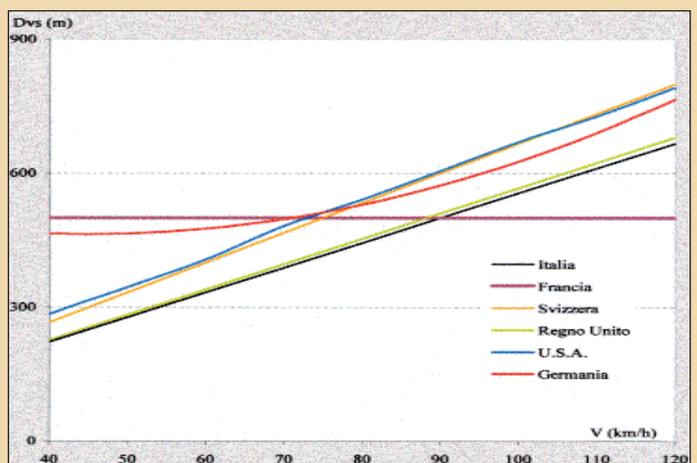


Diagramma dei modelli normativi

(3) Il primo adotta la velocità operativa la quale dipende anche dalla tortuosità del tracciato percorso e dalle dimensioni trasversali della sede stradale; il secondo articolo, con maggiore definizione, i domini delle grandezze cinematiche e, seppur implicitamente, correla la velocità iniziale del veicolo sorpassante con le condizioni di traffico.



delle velocità iniziali al di sotto della soglia degli 80 Km/h, che costituiscono il dominio di analisi realisticamente più significativo.

In dettaglio, il minore grado di cautela attribuibile al modello italiano deriva macroscopicamente dalla sua formulazione che, unica tra quelle esaminate, non contempla uno spazio di interposizione finale tra veicolo sorpassante e sorpassante.

Si nota, altresì, che la maggiore ricchezza di informazione sulle variabili coinvolte e contestualmente un modello cinematicamente più articolato conducono a risultati più cautelativi, come nel caso statunitense.

Fin dagli inizi degli anni '70, però, alcuni ricercatori di scuola americana, in particolare canadesi e statunitensi, hanno incominciato ad elaborare dei modelli, ipotizzando l'eventualità che la manovra di sorpasso potesse anche essere interrotta, senza che questo fatto comportasse pericolo per gli utenti e i mezzi coinvolti.

Il principio assertore comune di questi modelli consiste nel riconoscere l'esistenza e nell'individuare la posizione di un punto definito critico, esprimibile in guisa di distanziamento longitudinale tra veicolo sorpassante e sorpassando in un certo istante del tempo di manovra, in corrispondenza del quale, alla scelta di completare il sorpasso o altrimenti di interromperlo, con successo in entrambi i casi, è associato lo stesso margine di sicurezza.

Si determina così il valore della distanza di visibilità critica per il sorpasso.

In questa ricognizione, alla luce della cronologia e dell'evoluzione della ricerca, sono stati analizzati e valutati tre modelli, reputati tra i più rappresentativi e significativi di questo approccio innovativo al tema: i modelli di Lieberman, Glennon, ed Hassan.

Il calcolo delle posizioni critiche e delle relative distanze di visibilità critica nonché della distanza di visibilità per il sorpasso prevista soltanto da Lieberman sono sintetizzati nelle tabelle seguenti.

I valori ricavati discendono dai parametri di ingresso determinati secondo le indicazioni degli Autori riportate negli articoli citati in bibliografia ai quali si rimanda per una più puntuale discussione.

Dai risultati ottenuti si evince sostanzialmente una graduazione dei modelli, secondo il parametro distanza di visibilità critica, che denuncia come il modello di Lieberman sia il più cautelativo con Hassan assai

prossimo, mentre con Glennon si ricavano valori, nello spettro di velocità iniziali esplorato, ridotti mediamente del 10% rispetto ai primi.

In riferimento ai modelli normativi quelli decisionali di Lieberman ed Hassan attestano valori ancora maggiori di distanza di visibilità per il sorpasso che confermano come un'articolazione meno rigida dello schema di manovra sia necessaria per determinare, con un elevato grado di sicurezza, le dimensioni degli elementi progettuali ovvero per verificare più rigorosamente le situazioni esistenti.

Valori di $\Delta c$			
$V_p$ (km/h)	Lieberman	Glennon	Hassan
30	0,60	-10,47	-9,18
40	2,46	-13,16	-9,66
50	4,56	-14,18	-9,29
60	6,82	-14,62	-8,49
70	9,22	-16,80	-10,19
80	11,73	-17,52	-10,15
90	14,34	-18,19	-10,13

Valori di $S_c$			
$V_p$ (km/h)	Lieberman	Glennon	Hassan
30	77,41	73,40	59,32
40	111,51	107,90	91,06
50	149,67	140,40	125,61
60	191,53	172,07	163,05
70	236,81	216,13	220,82
80	285,27	254,31	275,56
90	336,73	294,12	336,96

Valori di S.D.			
$V_p$ (km/h)	Lieberman	Glennon	Hassan
30	123,50	-	-
40	191,01	-	-
50	272,21	-	-
60	367,45	-	-
70	477,58	-	-
80	604,45	-	-
90	752,40	-	-

Tabella 5a - 5b - 5c

## 4. ANALISI DELLA MANOVRA DI SORPASSO

La vocazione al sorpasso dipende dalle condizioni locali di interferenza veicolare a cui il conducente è soggetto: queste sono espresse dalla differenza tra la velocità desiderata dall'utente e la velocità del veicolo che lo precede; tale differenza di velocità è quindi un indice di valutazione del grado di condizionamento.

La frequenza della domanda di sorpasso dipende, quindi, sia dal regime di traffico sia dalle motivazioni e dallo stato psicofisico dell'utente sia, anche, dalla conformazione geometrica del tracciato.

Un parametro che influisce pesantemente sulla vocazione al sorpasso è la densità veicolare. Le indagini condotte hanno confermato che all'aumentare del flusso veicolare si incrementa la probabilità di incontrare elementi di disturbo: i veicoli sia pesanti che leggeri che marcano incolonnati, condizionati da quelli più lenti ne sono un esempio; inoltre il tempo di permanenza dei veicoli con istanze di più elevate velocità desiderate, (definito come quel tempo compreso tra la manovra di rientro in corsia dopo aver effettuato il sorpasso e quella di uscita dalla corsia per un successivo sorpasso), tende a ridursi progressivamente. Ciò comporta un incremento generalizzato del rischio di collisione frontale, e in subordine laterale, che contribuisce a rendere la circolazione pregiudizialmente insicura, sia in termini di gravità che di ricorrenza dei sinistri. La frustrazione ed il disagio che deriva dall'impossibilità, nello spazio e nel tempo, di poter eseguire la manovra di sorpasso e raggiungere le condizioni cinematiche desiderate, induce l'utente, all'aumentare del tempo di attesa, ed in funzione delle motivazioni di viaggio, ad accettare un rischio elevato pur di immettersi nella corsia di sinistra, anche quando non siano verificate le condizioni di sicurezza per l'effettuazione del sorpasso.

L'analisi della mobilità e dei vincoli imposti mostra che è possibile associare all'interdizione circostanziale del sorpasso una serie di rischi intrapresi dal guidatore, che transitando dietro una colonna di veicoli lenti, tenta tale tipo di manovra. Nei modelli per la determinazione della distanza di visibilità per il sorpasso, proposti in ambito nazionale ed internazionale non vengono espresse in dettaglio tutte le fasi della manovra, attribuendo loro dei valori basati su osservazioni sperimentali, che hanno quindi valore relativo, o su considerazioni di carattere analitico sulla condotta di guida e sulla cinematica della manovra piuttosto rigide. L'opportunità di utilizzare la tecnica fuzzy per la definizione di un modello congruente e realisticamente aderente alle modalità di manovra di sorpasso discende dalle sue prerogative di valutazione della cinematica, anche complessa, dei veicoli, ma soprattutto dalla possibilità di analizzare tutte quelle grandezze influenti sul comportamento dell'uomo, che proprio per questo motivo non hanno valore univoco ma piuttosto si muovono nell'ambito di domini numerici possibili di non agevole determinazione. Nel modello sviluppato, sono state individuate ed enucleate le grandezze fondamentali, cercando di legare il manifestarsi di un loro preciso valore agli stimoli provenienti dai condizionamenti esterni quali flusso, le prestazioni dei veicoli e le caratteristiche della piattaforma stradale. Si è inteso così simulare il processo decisionale di guida, nelle varie fasi, che si concreta nelle traiettorie di manovra e nella condotta cinematica del mezzo.

### 4.1 Descrizione della manovra di sorpasso secondo la scomposizione in fasi

Per la compiuta definizione del modello elaborato e qui proposto si sono individuate cinque fasi elementari e tre parametri basilari, in forma di distanze spaziali ( $\delta_{in}$ ,  $d$  e  $\delta_{fin}$ ) come mostrato nello schema: L'interazione cinematica prevede il coinvolgimento di tre veicoli, contrassegnati dalle lettere P,O ed I.



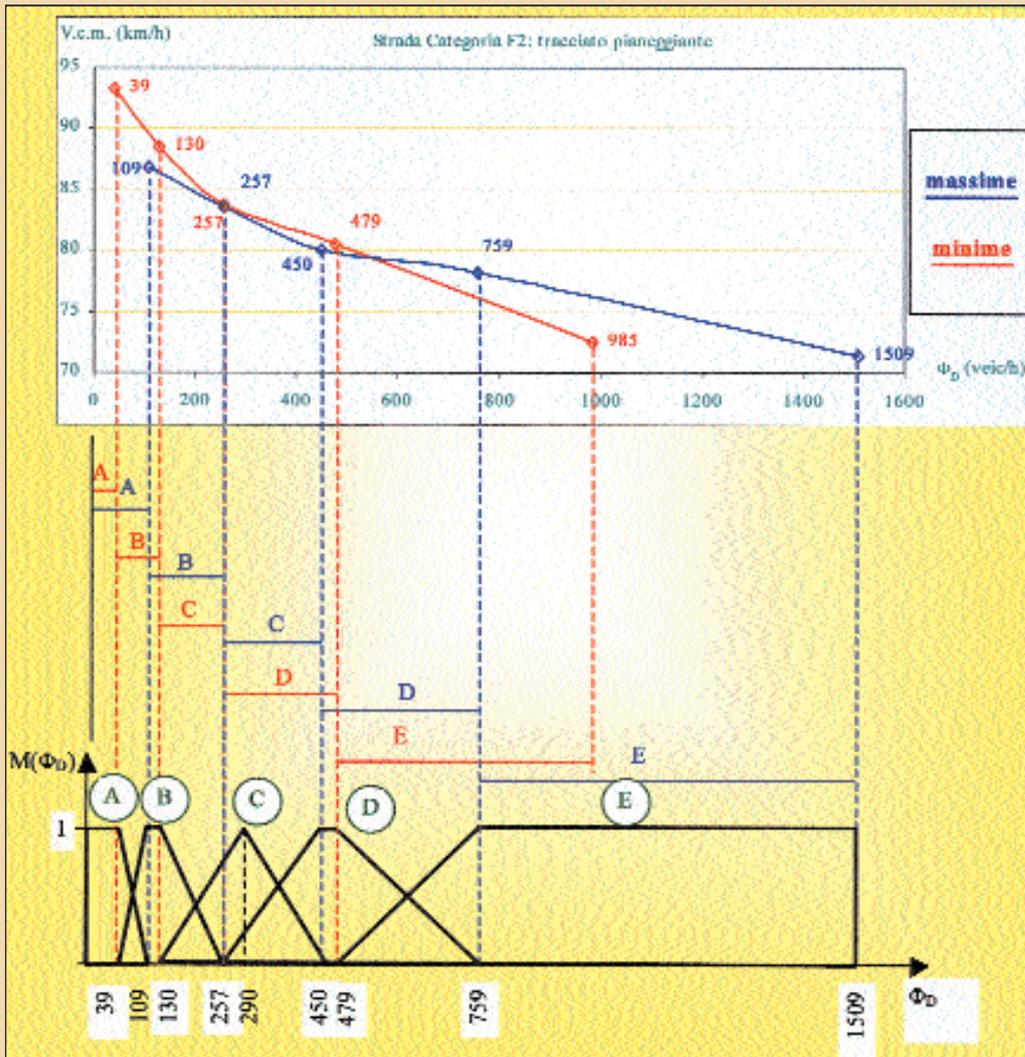


Figura 4 - Esempio di costruzione di insieme fuzzy con relativa funzione di membership

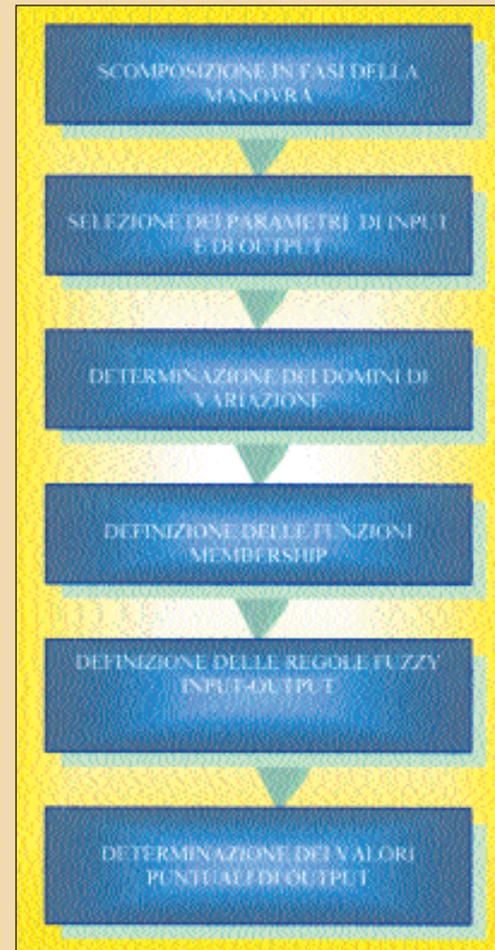


Figura 5 - Iter metodologico

ne direzionale e composizione veicolare; gli insiemi fuzzy sono caratteristici dei LOS B, C, D e E.

Di rappresenta nelle diverse fasi ed in ogni istante, la distanza tra il paraurti anteriore del veicolo sorpassante e il paraurti posteriore del veicolo sorpassando.

Si rappresenta nelle diverse fasi ed in ogni istante, la distanza tra il fianco destro del veicolo sorpassante e il fianco sinistro del veicolo sorpassando. Il parametro  $\beta$  è l'angolo formato dall'asse longitudinale del veicolo con l'asse della carreggiata.

La differenza di velocità  $\Delta V_a$  è determinata in corrispondenza dell'istante in cui i paraurti anteriori dei due veicoli sono allineati; il suo dominio di variazione è limitato superiormente dal valore ottenuto considerando la velocità desiderata ( $V_d = 1,15 V_p$ ). La distanza iniziale  $D_{in}$ , in funzione dei relativi parametri di input, è tanto più piccola quanto le portate ingenti e la velocità di accodamento bassa e viceversa aumenta quando è bassa l'interferenza veicolare ed elevata la velocità del veicolo sorpassando.

L'angolo di sterzata  $\theta_1$  è assunto piccolo (dolce) quando il veicolo sorpassante si trova ad una relativamente elevata distanza dal sorpassando mentre si accentua quando  $D_{in}$  è piccola.

Gli angoli di sterzata  $\theta_2$  e  $\theta_5$  sono tanto più grandi quanto più elevato l'angolo  $\beta$  e la distanza trasversale S.

Il distanziamento longitudinale  $\delta$  diminuisce all'aumentare del gradiente  $D_{va}$ , grazie alla percezione di un rientro più agevole, e all'aumentare del flusso sulla corsia sinistra, perché ciò comporta un rientro in corsia destra più rapido.

Un flusso elevato in corsia destra condiziona l'utente ad un rientro più rapido e quindi ad un distanziamento longitudinale minore a meno che egli non decida di effettuare un sorpasso multiplo, eventualità qui non presa in considerazione.

L'angolo di sterzata  $\theta_4$  è tanto più dolce quanto minore è la distanza trasversale e/o longitudinale che separa il veicolo sorpassante dal sorpassando mentre diviene sempre più accentuato all'aumentare del flusso sulla corsia sinistra.

La distanza iniziale  $D_{fin}$  è tanto più grande quanto maggiore è la velocità conseguita dal veicolo sorpassante mentre diminuisce con l'incremento, concomitante o meno, dei flussi sulle due corsie.

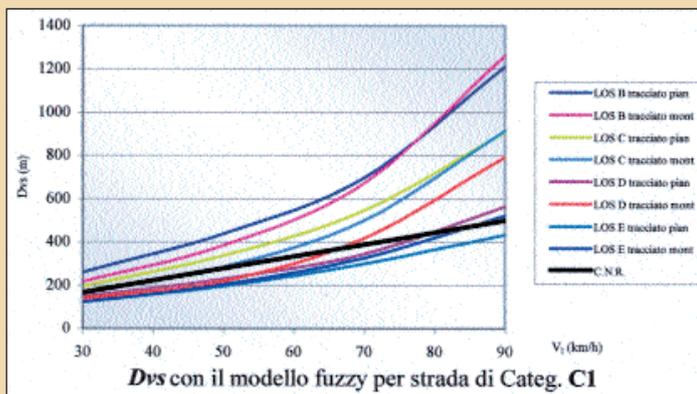
## 5. SIMULAZIONI

Sono stati calcolati, mediante simulazioni, i valori di distanza di visibilità per il sorpasso per alcune tipologie di strada extraurbane C1 ed F2 previste dalla normativa C.N.R. vigente, adottando come veicolo tipo sorpassante il modello Fiat Uno SX1.4, valutandone le prestazioni meccaniche in condizioni di manto viabile bagnato.

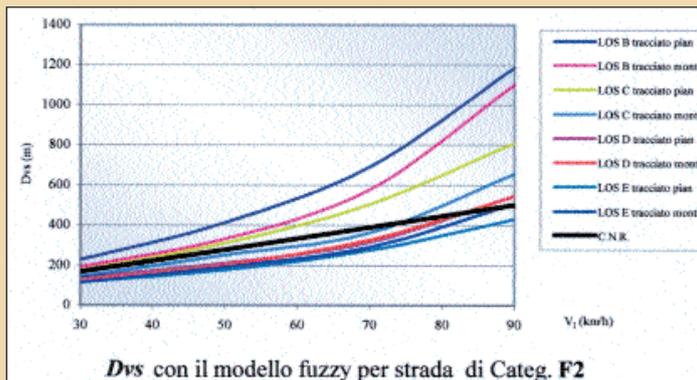
L'elaborazione è stata condotta in ambiente software MATLAB, adottando come scansione temporale 0,1 sec.

In relazione ai parametri di input richiesti dal modello le simulazioni sono state condotte prefiggendo uno scenario delle seguenti specifiche caratteristiche:

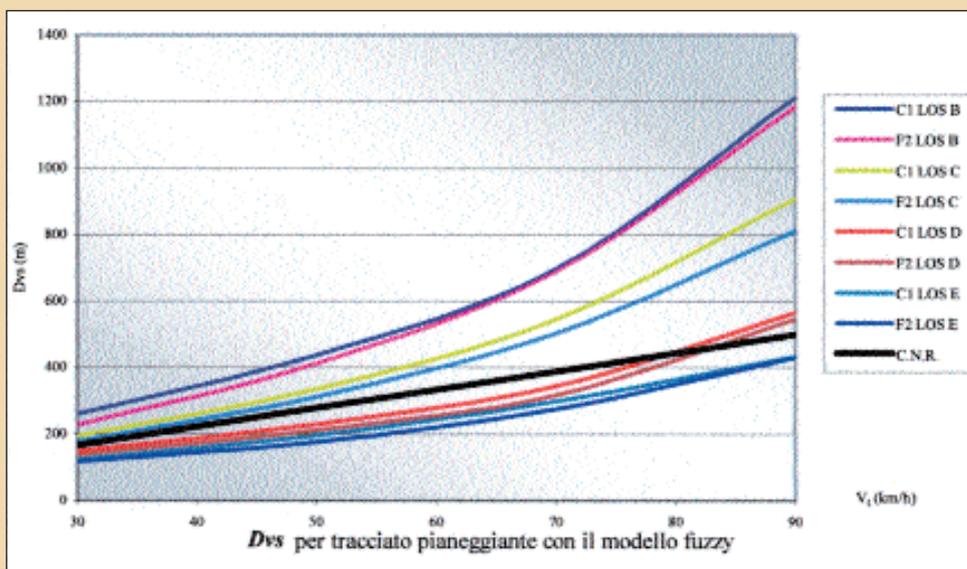
- ◆ Tipo di strada (C1 ed F2);
- ◆ Andamento altimetrico del tracciato (pianeggiante e montuoso);



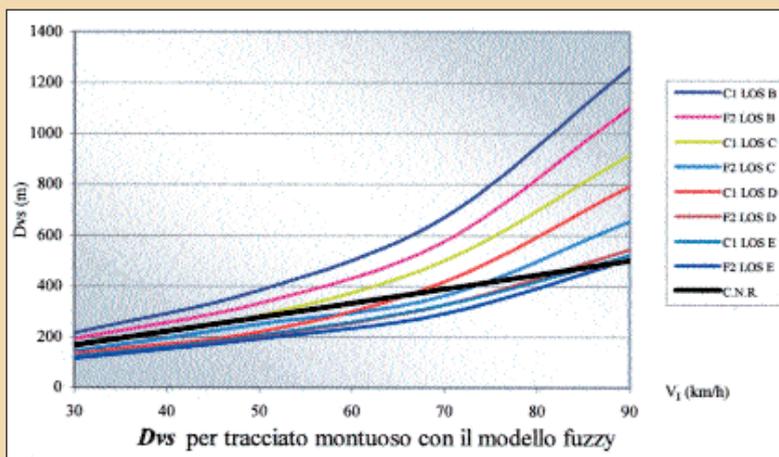
Dvs con il modello fuzzy per strada di Categ. C1



Dvs con il modello fuzzy per strada di Categ. F2



Dvs per tracciato pianeggiante con il modello fuzzy



Dvs per tracciato montuoso con il modello fuzzy

- ◆ Distribuzione direzionale del traffico percentuale (70/30);
- ◆ Assegnato LOS (compreso tra B ed E).

L'assunto fondamentale posto a base della procedura di calcolo è che, in analogia a diversi modelli tra i quali vi è quello ispiratore della norma italiana, la velocità del veicolo sorpassante sia pari a quella iniziale del veicolo sorpassante.

I diagrammi restituiscono in forma grafica gli esiti della simulazione e consentono di visualizzare immediatamente gli aspetti salienti del fenomeno in rapporto anche ai valori normativi vigenti in Italia

La valutazione delle potenzialità e prerogative del modello può essere effettuata confrontando in modo binario i risultati determinati, evidenziando la sensibilità della grandezza "distanza di visibilità per il sorpasso" alle grandezze di ingresso di calcolo: tipologia della strada, rappresentativa sostanzialmente della geometria trasversale, l'andamento altimetrico generalizzato del tracciato e il LOS.

L'analisi effettuata verte soltanto sulla distanza di visibilità per il sorpasso, pur essendo possibile eseguirla su ogni singolo addendo che la compone. Il campo di velocità esplorato è compreso tra 30 e 90 km/h, poiché si ritengono queste le velocità iniziali significative nel processo ordinario della manovra. L'analisi di sensibilità operata per dato tipo di strada ha portato alle seguenti conclusioni:

- ◆ Per le strade di categoria C1 si assiste ad un andamento della Dvs crescente all'aumentare del LOS, senza apprezzabili variazioni tra tracciato pianeggiante e montuoso soprattutto in corrispondenza delle velocità elevate; per i LOS B,C e D, per velocità elevate intorno e superiori ai 60 km/h appare lampante come la normativa vigente sottostimi la distanza di visibilità;

◆ Per le strade di categoria F2 si assiste ad un andamento della Dvs crescente all'aumentare del LOS, con variazioni stavolta apprezzabili tra tracciato pianeggiante e montuoso a vantaggio del primo, in termini di sicurezza, già a partire da basse velocità, per i LOS B e C; si denota un andamento pressoché identico per il LOS D mentre il LOS E il tracciato montuoso è quello con maggior grado di sicurezza. La velocità per i LOS D ed E sembra incidere relativamente poco sull'entità della distanza di visibilità per ambedue gli andamenti altimetrici;

- ◆ In termini di tracciato, il LOS per quello pianeggiante influisce cospicuamente sull'entità di Dvs, con gradienti notevoli tra i diversi LOS, accentuati per quelli superiori e per velocità elevate. La distinzione per tipologia di strada è quasi inavvertita dalla Dvs. Nel confronto con la Norma C.N.R. questa risulta cautelativa per LOS bassi, mentre nettamente insufficiente per quelli elevati;

◆ Per l'andamento del tracciato di tipo montuoso, assodata sempre la dipendenza accentuata dal LOS, è apprezzabile la differenza tra tipologie di strada, con Dvs maggiori per le strade di tipo C1 e con differenziali, per stesso LOS, sensibilmente costanti.

Alla luce di quanto detto se ne deduce che: i valori di Dvs, codificati dalla norma, risultano cautelativi soltanto per bassi LOS, mentre nel caso di circolazione fluida o comunque poco condizionata il modello fuzzy evidenzia la sottostima che la norma ha del fenomeno.



## CONCLUSIONI

Il modello proposto che è, dal punto di vista dell'approccio teorico e concettuale innovativo, ha prodotto dei risultati che danno adito ad alcune significative considerazioni.

Alla luce del fenomeno della sinistrosità rilevato in Italia, della sua entità e dei relativi indicatori di rischio, non è concettualmente corretto imputare a comportamenti anomali o illegali la quota di incidente "scontro frontale" direttamente ascrivibile alla manovra di sorpasso sui tipi di strada qui esaminati.

Conforta questa affermazione l'analisi dei modelli di calcolo della relativa distanza di visibilità: cospicue variazioni, talora anche di decine di punti percentuale, tra modelli suddivisi per modalità cinematica di sorpasso, ovvero appartenenti alla stessa classe, rivelano qualche incongruenza non limitata soltanto alla dinamica di manovra ma soprattutto alla scelta dei fattori significativi per descriverla. La disamina qualitativa dei modelli, altrettanto importante di quella quantitativa, fa emergere la quasi assoluta mancanza di variabili che non siano riferibili alla cinematica.

Questo fatto, probabilmente, fa sì che i modelli normativi abbiano caratteristiche piuttosto rigide che derivano da ipotesi esemplificative, irrealistiche o particolari.

Proprio in questo senso lo sviluppo teorico del modello qui proposto, cerca di inglobare nelle sue procedure di calcolo tutte le grandezze che gli altri semplificano o ritengono inessenziali.

La scelta poi di adottare la tecnica fuzzy logic come strumento metodologico di analisi, discende proprio dalla sua prerogativa di rendere interpretabile e soprattutto quantificabile, tutti quei fenomeni legati sostanzialmente al comportamento umano, per i quali non esiste un netto confine tra domini limitrofi, che portano infine all'esplicazione della condotta di guida.

In altri termini, adottando la logica fuzzy, si è potuto implicitamente tener conto, attraverso una rigorosa e dettagliata concezione, costituzione e formalizzazione degli insiemi di input ed output, della variabile uomo insieme alle variabili esogene quali il traffico veicolare, le dimensioni dei veicoli e della strada nonché le classiche grandezze cinematiche.

I risultati dell'applicazione di tale modello, mediante simulazioni su specifici tipi di strada indicati nella normativa C.N.R. vigente, hanno mostrato sia rispetto agli esiti di calcolo dei modelli internazionali sia rispetto alla norma di riferimento italiana, l'esigenza di una maggiore distanza di visibilità per il sorpasso soprattutto nel campo dei valori di velocità più frequentemente rilevate durante la circolazione ordinaria. Il modello così definito possiede delle peculiarità che è opportuno evidenziare:

- ◆ Duttilità di applicazione;
- ◆ Procedura di calcolo rigorosa;
- ◆ Capacità di interpretazione di un fenomeno così articolato grazie alla possibilità di includere tutte le grandezze in gioco, anche di natura diversa.

I risultati ottenuti dalle simulazioni, inoltre, spingono a calibrare il modello sulla scorta di dati sperimentali, in genere di difficile rilevazione, e di altrettanto prezioso contenuto di informazioni.

Tuttavia appare un notevole esito della ricerca quello di avere evidenziato la sottostima quantitativa della distanza di visibilità per il sorpasso che può rappresentare una delle concause, se non la principale, del fenomeno incidentale osservato.

\* *Ricercatore confermato - DIIV  
Dipartimento d'Ingegneria di Infrastrutture Viarie -  
Università degli Studi di Palermo*

## BIBLIOGRAFIA

1. **Consiglio Nazionale delle Ricerche**. *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*. CNR 1998, Roma
2. **Y. Hassan, S. M. Easa, A. O. Abd El Halim** - *Passing Sight Distance on two-lane highways: review and revision*. Transportation research A, vol 30, n° 6 pp. 453-467, 1996.
3. **E.B. Liebermann** - *Model for calculating safe passing distances on two-lane rural roads* - Transportation research Record 869, TRB, Washington D.C., 1982
4. **Transportation Research Board** - *Highway Capacity Manual, third edition*. Special Report n° 209, National Research Council, Washington D.C., 1994.
5. **American Association of State Highway and Transportation Officials**. *A policy on design of highways and streets*. AASHTO Washington, 1994.
6. **G. Di Mino** - *Elaborazione di un modello per il calcolo della distanza di visibilità per il sorpasso su strada bidirezionale ad una carreggiata*. Università degli Studi di Reggio Calabria, Facoltà di Ingegneria.
7. **A. Bevilacqua, G. Di Mino, M. Giunta** - *Metodologia di analisi e diagnosi dell'incidentalità sulle autostrade siciliane con l'impiego di reti neurali artificiali* - Le Strade, Kuala Lumpur 1999.
8. **P. Ferrari, F. Giannini** - *Ingegneria stradale. Geometria e progetto di strade* - Vol. 1 - Ed. Isedi.
9. **S. Cammarata** - *Sistemi a logica fuzzy* - Ed Etaslibri, Milano, 1997.
10. **H. J. Zimmermann** - *Fuzzy Set Theory and its application* - Kluwer Academic Publishers 1992.
11. **D. Dubois H. Prade** - *Fuzzy sets and systems di S.F.C.* - Academic Press, 1980.
12. **F. Giannini, F. La Camera, A. Marchionna** - *Appunti di costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti* - Ed. Masson - Milano, 1993.
13. **M. R. De Blasis** - *La verifica delle distanze di visibilità per il sorpasso sulla rete viaria in esercizio* - Le strade, 1995.
14. **G. Cicchitelli** - *Probabilità e statistica* - Maggioli Editore, 1984.
15. **R. D'Orsi, T. Esposito, R. Grossi** - *Analisi delle caratteristiche della circolazione veicolare su strade a due corsie* - Le Strade, anno XCIII, n. 1279 Ottobre 1991.
16. **M. R. De Blasis** - *Un modello innovativo per la verifica della sicurezza stradale* - Le Strade n° 1, 1994.
17. **B. Crisman, A. Marchionna, P. Perco, R. Roberti** - *Aggiornamento delle modalità di valutazione delle distanze di sorpasso* - X CONVEGNO NAZIONALE S.I.I.V. - Catania, 26/28 Ottobre 2000.
18. **V. Benincasa** - *Il fattore umano nella genesi degli incidenti stradali - Autostrade*, n° 3, 1995.
19. **Murray R. Spiegel** - *Probability and statistics* - Mc Graw-Hill 1992.
20. **G. Galante, R. Grossi** - *Influenza dell'aumento delle prestazioni delle autovetture sulle velocità attuate dagli utenti*. XXI CONVEGNO NAZIONALE STRADALE, Trieste, 11/15 Giugno 1990. Strade e Autostrade, n° 3, 2000.
21. **Schede tecniche autoveicoli Fiat**

### Siti Internet

22. Sito Internet ISTAT:  
[www.istat.it/Anotizie7Aaltrein\statabrev\incidenti.htm](http://www.istat.it/Anotizie7Aaltrein\statabrev\incidenti.htm)
23. Sito Internet EURISPES:  
[www.mix.it/eurispes/EURISPES/lamiere9.htm](http://www.mix.it/eurispes/EURISPES/lamiere9.htm)
24. Sito Internet ACI:  
[www.aci.it/studiericerche/pdf/autoritratto1999.pdf](http://www.aci.it/studiericerche/pdf/autoritratto1999.pdf)
25. Sito Internet Quattroruota:  
[www.edidomus.it/auto/mondoauto/tecnica](http://www.edidomus.it/auto/mondoauto/tecnica)