

# **Definizione di un indice di performance per caratterizzare il livello di pericolosità delle infrastrutture stradali**

Sascia Canale, Salvatore Leonardi, Francesco Nicosia.

## **1. PREMESSA**

Gli indicatori del livello di servizio degli utenti stradali possono essere collegati alle caratteristiche di sicurezza, comfort, e costo del trasporto delle infrastrutture stradali. Lo studio del moto di un veicolo deve essere analizzato mediante la analisi complessiva del sistema strada veicolo. Le infrastrutture stradali possono essere suddivise in sezioni elementari. La percorrenza di un veicolo è caratterizzata da un continuo scambio di informazioni tra l'utente e l'ambiente stradale. Le informazioni devono essere percepite e trasformate in azioni sugli organi di guida. Una strada diventa pericolosa se non garantisce all'automobilista una corretta percezione degli stimoli. In questo contesto assume una importanza prioritaria la determinazione della pericolosità del tracciato stradale. Il moto di un veicolo avviene tramite l'adozione di una serie di rischi intrapresi dall'utente. L'analisi del rischio applicata alla percorribilità stradale consente di caratterizzare le varie sezioni elementari in funzione della loro pericolosità. La rischiosità di una sezione stradale dipende dalla forma della sezione e dalla probabile gravità di un evento incidentale. In questa memoria si intende proporre l'utilizzo di un nuovo indice di performance. Questo indice contiene tutti i parametri fondamentali per lo studio del livello di pericolosità dei tracciati: le caratteristiche plano altimetriche della strada, la destinazione d'uso delle corsie, il tipo e l'entità del traffico, la presenza di segnaletica. L'applicazione della metodologia proposta consente di ottenere degli indici di performance mirati alla gestione della rete stradale.

## **2. LA PERCORRENZA SOPRA UNA INFRASTRUTTURA**

Molte delle attività svolte dall'uomo sono caratterizzate da un latente grado di rischio. La percorrenza veicolare è senz'altro una attività rischiosa in quanto la esecuzione del viaggio può nascondere delle insidie che possono sfociare nell'incidente. E' possibile paragonare il viaggio lungo una infrastruttura ad un ciclo produttivo che consente al veicolo di compiere un "lavoro" muovendosi lungo il tracciato. Se si considera l'intera infrastruttura suddivisa in sezioni elementari (sezioni, nominalmente identiche e perfettamente funzionanti in determinate condizioni al tempo t), (Fig.1), è possibile

definire “incidente” l’interruzione non volontaria del viaggio dovuta ad un funzionamento non ottimale del sistema strada-veicolo.

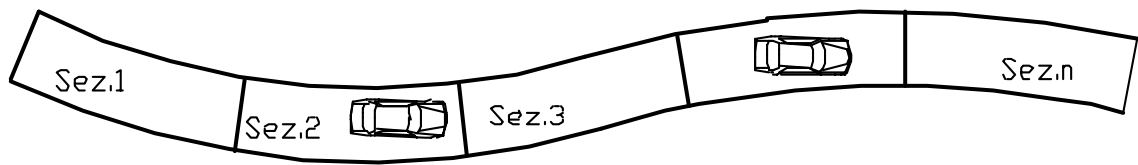


Fig. 1 Schematizzazione di una infrastruttura stradale.

Definiamo sicurezza di viaggio  $S(t)$  al tempo  $t$ , nei riguardi dell’evento sfavorevole (incidente), il rapporto tra il numero  $x(t)$  delle sezioni in cui il passaggio è avvenuto in assenza di incidente dopo il tempo  $t$ , e il numero totale delle sezioni  $n$  percorse:

$$S(t) = \frac{x(t)}{n}$$

Poiché lo studio della percorribilità stradale non può essere analizzato senza lo studio di tutti i fenomeni aleatori la cui concomitanza può portare all’evento temuto, è indispensabile analizzare in dettaglio le connessioni strada veicolo così da evidenziare tutti quegli elementi che possono portare al verificarsi dell’incidente stradale o che possono incrementare la pericolosità.

L’incidente stradale è un fenomeno molto complesso provocato dalla combinazione di numerosi fattori legati:

- al comportamento degli utenti (esperienza, capacità, emotività, ecc.);
- alle caratteristiche dei veicoli (prestazioni, manutenzione, ecc.);
- all’infrastruttura (geometria, pavimentazione, ecc.);
- all’ambiente (intensità di traffico, condizioni meteorologiche, ecc.).

Per analizzare il funzionamento complessivo di una infrastruttura è indispensabile indagare sul corretto funzionamento di ogni sezione elementare; basta che in una sezione elementare non si abbia il funzionamento ottimale per mettere in crisi l’intera infrastruttura. Un corretto studio di funzionalità deve quindi iniziare investigando su ogni sezione elementare per verificarne l’idoneità. Le sezioni elementari che devono essere individuate non hanno una dimensione fisica prestabilita; risulta chiaro che più è intensa la suddivisione, migliore sarà l’indagine che potrà essere condotta.

### 3. SISTEMA STRADA VEICOLO

La guida è un susseguirsi di percezioni e reazioni. Molte delle attività durante la guida sono filtrate dalla percezione della sicurezza e del comfort.

Il guidatore chiuso nel suo abitacolo si affida per la conduzione del veicolo agli organi della vista, dell'udito e della percezione tattile. Gli stimoli esterni, filtrati dagli organi di percezione, arrivano al cervello, il quale elabora dei comportamenti di guida, e fa intraprendere al guidatore le azioni di controllo (Fig.2).

E' possibile rappresentare l'attività di guida in modo schematico con la sequenza:

$S \rightarrow P \rightarrow R$  ;

in cui: S indica lo stimolo della situazione stradale,

P il filtro della personalità,

R la risposta o reazione.

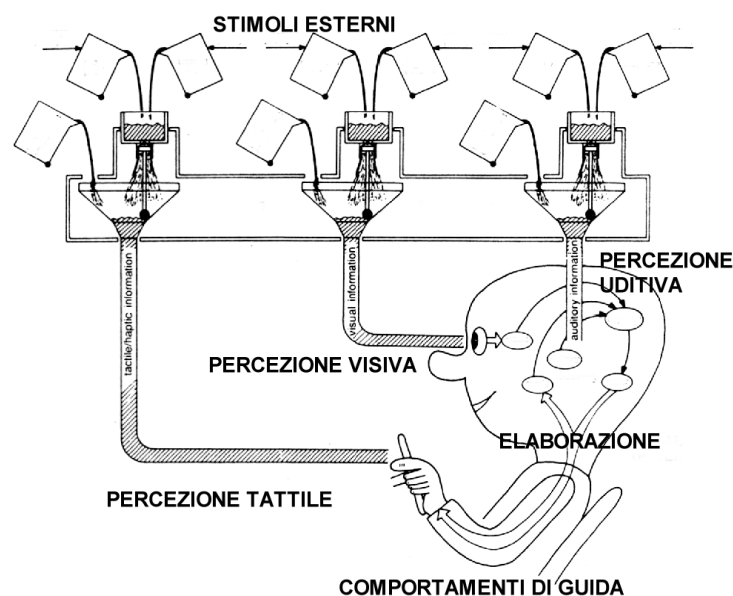


Fig. 2 Attività di guida

L'efficienza funzionale e la sicurezza di circolazione di una infrastruttura stradale, dipendono dalla tipologia delle informazioni che possono essere trasmesse all'utente. L'utente deve percepire tutti gli elementi informativi in modo univoco ed in tempo utile per poter intraprendere le corrette azioni di guida.

Le varie norme di progettazione stradale prevedono una correlazione diretta tra la velocità di progetto e le caratteristiche geometriche delle sezioni stradali. Più è alta la velocità di percorrenza e maggiore cura è attuata per la definizione degli elementi caratterizzanti la sezione. La velocità di percorrenza non dipende solo dalle scelte che sono state eseguite in fase di progettazione o di quelle che può operare l'utente; essa varia in base all'affollamento presente nella sezione. Dalla figura 3 si percepisce chiaramente come all'aumentare del flusso veicolare la libertà di movimento vari fin tanto da produrre un abbassamento della velocità.

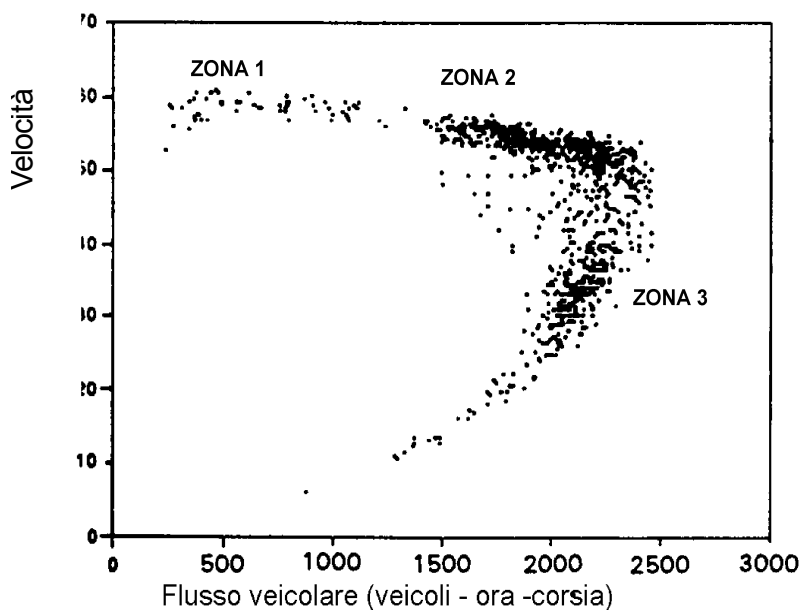


Fig. 3 Relazione tra velocità e flusso

Compito prioritario delle infrastrutture stradali è quello di garantire una elevata velocità di spostamento ed una elevata sicurezza. L'offerta di sicurezza può essere messa in correlazione con la dotazione degli elementi di "corredo funzionale stradale" (segnaletica, impianti di soccorso, di illuminazione, ecc.). Tali elementi giocano un ruolo fondamentale nella individuazione del parametro rappresentativo la sicurezza del tracciato e il comfort di guida.

Una corretta attività di guida deve basarsi sulla chiara percezione delle informazioni provenienti dall'esterno e sulla capacità offerta al guidatore di modificare il proprio comportamento adeguandolo alle esigenze del percorso. Laddove ciò non sia possibile, si incrementano le potenziali cause d'incidente con il conseguente abbattimento dell'offerta di sicurezza.

Poiché tutte le informazioni stradali sono caratterizzate da una determinata velocità di transito, l'utente è portato a muoversi in ogni elemento del tracciato mantenendo inalterata la velocità, ritenendo che in ogni sezione siano sempre soddisfatti i requisiti di sicurezza. Si crea, dunque, una forte connessione tra "memoria" ed "aspettativa". Ciò spesso conduce gli utenti ad eseguire banali errori di comprensione che possono portare all'incidente.

#### 4. LA METODOLOGIA DELL'ANALISI DEL RISCHIO

Per definizione il rischio è il danno incerto a cui un dato soggetto si trova esposto in seguito al verificarsi di eventi probabili. La probabilità del verificarsi di un determinato

evento è l'elemento che caratterizza qualsiasi attività umana basata su processi logici, mentre l'incertezza costituisce quell'aleatorietà dell'agire dell'uomo caratterizzata dal fatto di non avere certezza del risultato ottenibile.

Da un punto di vista analitico, il rischio può essere definito, nello spazio degli attributi misurabili, come la combinazione dei danni o delle conseguenze negative e delle probabilità ad esse associate. Scopo di tutte le attività umane non è quello di trovare situazioni di rischio nullo bensì quello di tentare, mediante analisi sistemiche, di ricercare quelle condizioni caratterizzate da rischi minori.

La definizione quantitativa convenzionalmente adottata per il rischio è:

$$R = f \cdot M$$

dove:

- $f$  = *frequenza di accadimento* dell'evento incidentale;
- $M$  = *magnitudo* degli effetti dell'incidente, ovvero la consistenza delle sue conseguenze.

Ricercare una situazione con minor rischio (ovvero con un maggiore grado di sicurezza) significherà pertanto una diminuzione della gravità delle conseguenze o della probabilità di accadimento, oppure di entrambe.

E' possibile adottare una rappresentazione grafica dei dati mediante una *curva di rischio*, che esprime la probabilità di accadimento di un evento o incidente  $f_e$ , di una certa entità di conseguenze (o magnitudo) (Fig. 4).

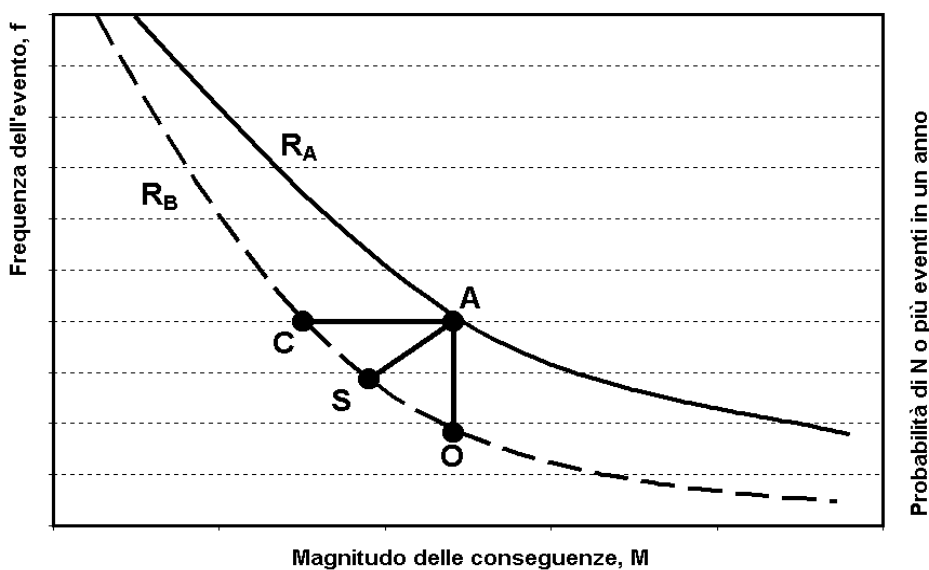


Fig. 4 Curve di rischio relative ad un generico "sistema":

Naturalmente nello spazio dell'agire umano è possibile individuare una famiglia infinita di curve di rischio. Ogni curva di rischio rappresenta una condizione di isorischio caratterizzata da valori di rischiosità differenti.

Per ridurre il rischio del sistema dal valore  $R_A$  al valore  $R_B$ , si può agire in tre diversi modi:

- 1) diminuendo la probabilità (C);
- 2) diminuendo la magnitudo (O);
- 3) diminuendo entrambi (S).

Per valutare il grado di rischio in una qualsiasi sezione dell'infrastruttura stradale è indispensabile investigare sulle connessioni esistenti tra strada e veicolo. In particolare è indispensabile stimare:

- ◆ la frequenza dell'incidente;
- ◆ la gravità dell'evento in termini di danni o di vittime.

La valutazione delle frequenze incidentali può essere fatta mediante delle procedure basate su un'analisi dettagliata delle condizioni operative di quelle zone dell'infrastruttura che possono essere "candidate" ad essere sede di incidente.

Per quanto concerne la magnitudo, il discorso si complica a causa degli innumerevoli fattori che intervengono e pesano sulla individuazione del possibile danno.

Da studi ed osservazioni eseguite si evince che l'entità del danno associato ad un determinato tipo di incidente è funzione delle condizioni al contorno, ossia la gravità dell'evento incidentale è legata al luogo ove si manifesta l'incidente.

## **5. L'ANALISI DEL RISCHIO PER LA VALUTAZIONE DELLE SEZIONI ELEMENTARI DI UN TRACCIATO.**

Per valutare la rischiosità dell'infrastruttura nel suo complesso è indispensabile analizzare ogni sezione elementare in cui è possibile suddividere l'infrastruttura. Il processo logico di indagine si può concretizzare in tre fasi:

- identificazione degli elementi che caratterizzano la funzionalità di una sezione;
- valutazione probabilistica del funzionamento, ponderata attraverso la scomposizione degli effetti verso l'evento temuto e degli elementi di limitazione delle conseguenze dell'evento incidentale;
- valutazione del rischio di funzionamento della sezione elementare al fine di stabilire l'accettabilità o le azioni che possono essere intraprese, per diminuire le frequenze di accadimento dell'incidente e/o le conseguenze ad esso associate.

Per la valutazione della probabilità di accadimento dell'evento temuto è possibile utilizzare qualsiasi metodo di decomposizione dell'evento. E' possibile utilizzare l'albero degli eventi o dei guasti, oppure le indagini statistiche su eventi simili.

L'albero degli eventi è costituito graficamente da un diagramma logico che connette un evento, detto top event, con gli eventi che lo hanno provocato (eventi primari). Nel grafico di figura 5, di costruzione molto semplificata, sono rappresentati, con diversa simbologia grafica, gli eventi base (ellissi) e gli eventi intermedi (rettangoli) derivati dalla combinazione degli eventi base.

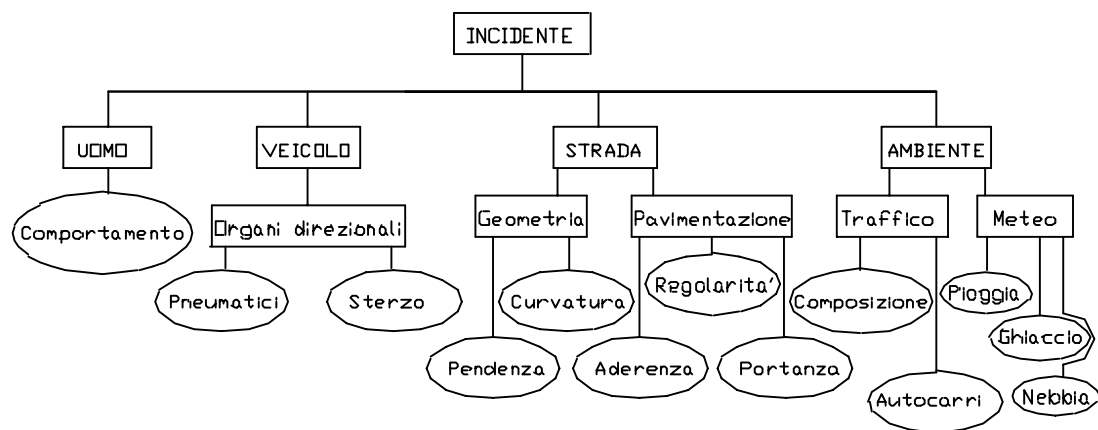


Fig. 5 Esempio di albero degli eventi semplificato.

La caratteristica peculiare della tecnica dell'albero degli eventi è la sua capacità di indagare a ritroso su un particolare evento, individuando non solo tutte le possibili relazioni di causa-effetto tra esso ed i fattori che lo hanno determinato, ma anche i rapporti di concatenazione esistenti tra i fattori stessi. Le relazioni tra i vari fattori si possono ricondurre a rapporti di complementarità quando tutti i fattori causanti si manifestano contemporaneamente per produrre l'evento, oppure di indipendenza quando la manifestazione di uno solo dei fattori causanti è sufficiente per produrre l'evento.

La progettazione di una infrastruttura stradale è caratterizzata da andamenti piano altimetrici differenti, da condizioni orografiche diverse ed anche da condizioni al contorno enormemente variabili. La velocità di marcia che è l'elemento caratterizzante l'attività di guida risulta funzione dell'aspettativa che egli ha della strada; ed a volte egli tende a mantenere la stessa velocità su tutti gli elementi del tracciato trascurando il fatto che in alcune zone il margine di sicurezza si possa ridurre notevolmente.

Le sezioni stradali possiedono caratteristiche differenti anche in base alla entità del danno che può scaturire da un evento incidentale. Per limitare le conseguenze

dell'evento incidentale, durante la costruzione della strada in alcune sezioni si cerca di attuare tutti quegli accorgimenti detti di sicurezza passiva capaci di contenere l'entità dei danni possibili. Ne è per tutti l'esempio delle barriere di sicurezza le quali se installate nei viadotti devono avere un grado di contenimento superiore a quelle che normalmente possono essere installate nelle zone in rilevato. Da quanto detto risulta chiaro che è possibile classificare le tipologie delle sezioni stradali in base alla classe di magnitudo che ne può derivare dall'accadimento di un incidente (Fig. 6).

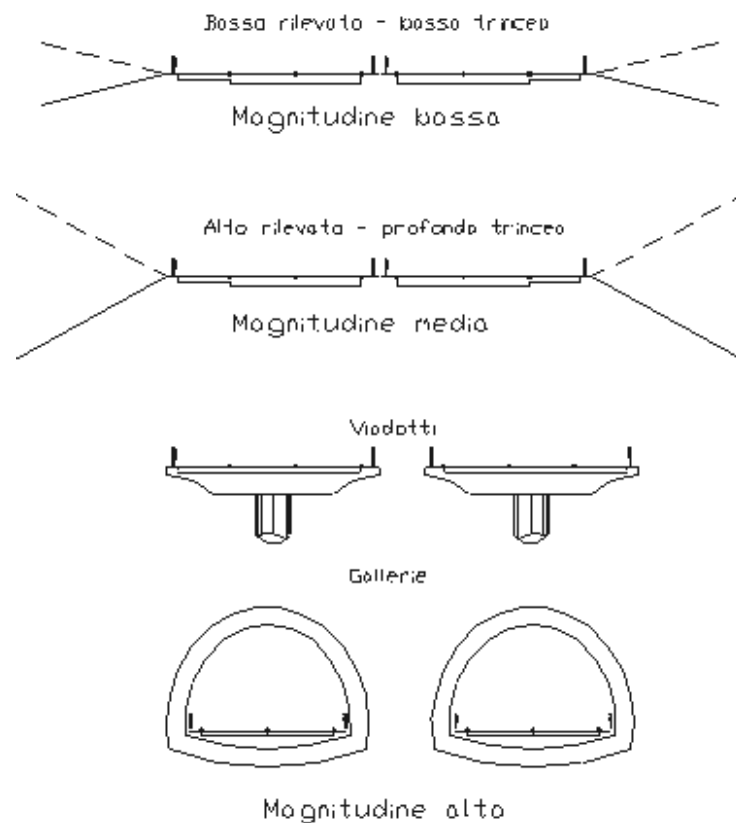


Fig. 6 Catalogazione delle sezioni in base alla magnitudo.

Considerando che il “top event” dell’attività di guida è l’incidente, per poter caratterizzare l’idoneità della strada è indispensabile analizzare approfonditamente ciascuna sezione elementare e tentare di ricavare un parametro che sia in grado di caratterizzare l’idoneità della strada ad assolvere alla funzione a cui è demandata.

## 6. VALUTAZIONE DELL’INDICE DI IDONEITA’ DELLE SEZIONI ELEMENTARI.

Per valutare l’indice di idoneità è indispensabile costruire una check list di verifica dei requisiti della sezione elementare e valutare la rispondenza agli standard progettuali e il



soddisfacimento dei requisiti teorici di idoneità. La determinazione dell'indice di idoneità di ogni sezione elementare deve essere eseguita introducendo dei "pesi" (P) adeguati a mettere in evidenza il ruolo svolto dai vari elementi durante l'attività di guida. L'assegnazione del valore dei pesi viene fatta mediante l'applicazione delle procedure basate sulla scomposizione elementare della probabilità di funzionamento, ossia dall'applicazione dell'albero degli eventi.

Tramite la scomposizione delle caratteristiche della sezione elementare è possibile definire alcuni parametri caratterizzanti l'idoneità delle sezioni elementari e definiti compiutamente da un indice (I) e dal rispettivo grado di ponderazione (P). In particolare si farà riferimento a:

➤ *Caratteristiche geometriche:*

1. raggio planimetrico ( $I_{rp}$ ,  $P_{rp}$ );
2. pendenza trasversale ( $I_{pt}$ ,  $P_{pt}$ );
3. pendenza longitudinale ( $I_{pl}$ ,  $P_{pl}$ );
4. raggi altimetrici ( $I_{ra}$ ,  $P_{ra}$ );
5. distanza di visibilità per l'arresto ( $I_{da}$ ,  $P_{da}$ );
6. distanza di visibilità per il sorpasso ( $I_{dv}$ ,  $P_{dv}$ ).

Il coefficiente di idoneità delle caratteristiche geometriche di una determinata sezione può essere espresso come:

$$I_G = I_{rp} * P_{rp} + I_{pt} * P_{pt} + I_{pl} * P_{pl} + I_{ra} * P_{ra} + I_{da} * P_{da} + I_{dv} * P_{dv}$$

Analogamente è possibile definire un indice di idoneità della funzionalità della sezione.

➤ *Condizioni di funzionalità:*

1. coefficiente di aderenza trasversale ( $I_{at}$ ,  $P_{at}$ );
2. coefficiente di aderenza longitudinale ( $I_{al}$ ,  $P_{al}$ );
3. coefficiente di regolarità del piano viario ( $I_{rg}$ ,  $P_{rg}$ );
4. coefficiente di portanza ( $I_{po}$ ,  $P_{po}$ );
5. coefficiente di smaltimento delle acque piovane ( $I_{sa}$ ,  $P_{sa}$ ).

Il coefficiente di idoneità della funzionalità della sezione può essere espresso come:

$$I_F = I_{at} * P_{at} + I_{al} * P_{al} + I_{rg} * P_{rg} + I_{po} * P_{po} + I_{sa} * P_{sa}$$

Allo stesso modo è possibile definire un indice di idoneità alla viabilità della sezione

➤ *Condizioni di viabilità:*

1. flusso veicolare (veic/h) ( $I_{fv}$ ,  $P_{fv}$ );
2. composizione veicolare ( $I_{cv}$ ,  $P_{cv}$ );

3. tipologia di utenti ( $I_{ut}$ ,  $P_{ut}$ ).

Il coefficiente di idoneità alla viabilità può essere espresso come:

$$I_V = I_{fv} * P_{fv} + I_{cv} * P_{cv} + I_{ut} * P_{ut}$$

Durante il moto l'automobilista riceve importanti impulsi dalla segnaletica; è necessario pertanto definire un indice di idoneità al condizionamento alla guida della sezione.

➤ *Condizionamenti alla guida dovuti alla segnaletica:*

1. presenza e tipo di segnaletica verticale ( $I_{sv}$ ,  $P_{sv}$ );
2. presenza e tipo di segnaletica orizzontale ( $I_{so}$ ,  $P_{so}$ );
3. presenza e tipo di segnaletica integrativa ( $I_{si}$ ,  $P_{si}$ );
4. visibilità della segnaletica ( $I_{vs}$ ,  $P_{vs}$ ).

Il coefficiente di idoneità al condizionamento può essere espresso come:

$$I_c = I_{sv} * P_{sv} + I_{so} * P_{so} + I_{si} * P_{si} + I_{vs} * P_{vs}$$

Anche gli elementi di confinamento stradale giocano un ruolo determinante nella definizione della idoneità della sezione affinché il moto avvenga in sicurezza; è possibile quindi definire un indice di idoneità degli elementi di ritenuta

↗ *Condizioni degli elementi di ritenuta:*

1. presenza di barriere laterali ( $I_{bl}$ ,  $P_{bl}$ );
2. presenza di barriere centrali ( $I_{bc}$ ,  $P_{bc}$ );
3. tipi di barriere ( $I_{tb}$ ,  $P_{tb}$ );
4. spazi di fuga ( $I_{sf}$ ,  $P_{sf}$ ).

Il coefficiente di idoneità alla ritenuta può essere espresso come:

$$I_R = I_{bl} * P_{bl} + I_{bc} * P_{bc} + I_{tb} * P_{tb} + I_{sf} * P_{sf}$$

Gli impianti a servizio della strada, ritenuti a torto soltanto opere di arredo funzionale, sono invece elementi indispensabile per una corretta attività di guida; è pertanto indispensabile definire un indice di idoneità degli elementi di ausilio.

➤ *Condizione degli elementi di ausilio alla guida*

1. Impianto di illuminazione ( $I_{pl}$ ,  $P_{pl}$ );
2. Impianto di delineazione ottica ( $I_{dl}$ ,  $P_{dl}$ );
3. Impianto di soccorso ( $I_{sc}$ ,  $P_{sc}$ ).

Il coefficiente di idoneità agli elementi di ausilio può essere espresso come:

$$I_A = I_{pl} * P_{pl} + I_{dl} * P_{dl} + I_{sc} * P_{sc}$$

La condizione di idoneità di una sezione stradale è quindi collegata ai vari indici ed essa può essere valutata come il prodotto dei vari indici di idoneità relativi (Fig.7):

$$I_{\text{idoneità}} = I_G * I_F * I_V * I_C * I_r * I_A$$

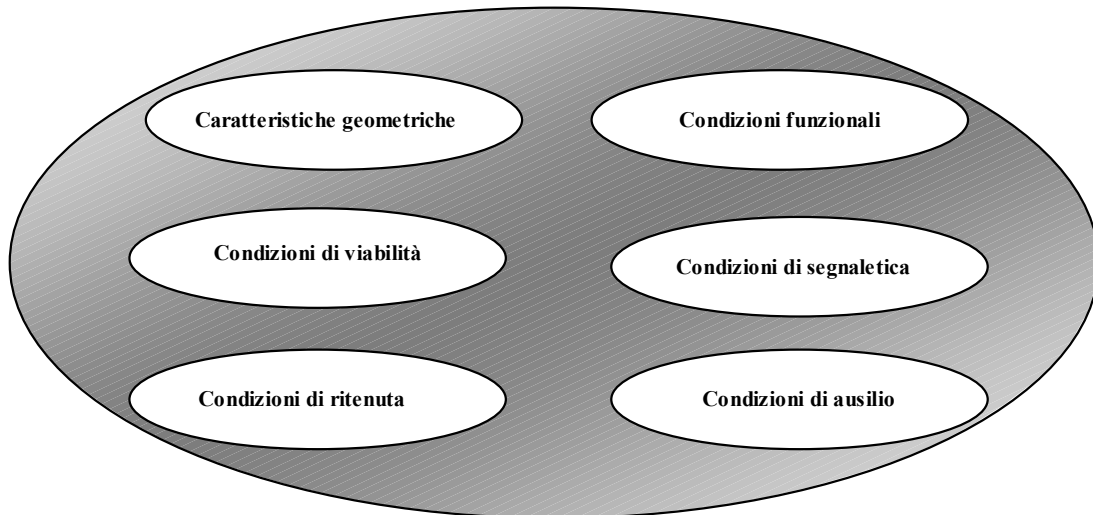


Fig. 7 Elementi caratterizzanti l'idoneità di una sezione stradale

Il valore attribuibile ai vari pesi nei vari indici di idoneità è condizionato anche da tutte quelle condizioni che hanno preceduto il transito su quella sezione. Ad esempio se dal check di controllo si ottiene  $R < R_{\min}$ , questo è un campanello di allarme per investigare su che cosa può accadere. Poiché il comportamento dell'utente è di tipo cognitivo mnemonico, se tale condizione si manifesta dopo un lungo rettilineo, essa ha un determinato valore ponderale (la sezione è potenzialmente pericolosa), cosa diversa se ciò accade dopo una serie di curve, magari tutte nelle medesime condizioni.

Risulta evidente che basta avere un indice di idoneità con valore basso per far sì che l'idoneità complessiva degradi fortemente.

## 7. DEFINIZIONE DELL'INDICE DI PREVISIONE

Per differenziare quelle sezioni stradali che, pur avendo lo stesso indice di idoneità, sono caratterizzate da una certa combinazione di aspettative dell'utente, tali da renderle potenzialmente più pericolose rispetto alle altre è possibile introdurre l'indice di previsione "I<sub>Pre</sub>".

La procedura di definizione dell'indice di previsione richiede l'introduzione dei seguenti indici:

- $I_T$  = *Indice di Traffico, finalizzato a quantificare numericamente la variabilità del traffico di ogni singola sezione; esso è possibile esprimerlo come:*

$$IT_i = \frac{TO_{MAX}}{TO_{MED}}$$

dove:

- $TO_{MAX}$  = traffico orario massimo in una determinata sezione stradale (individuato per un particolare intervallo orario);
- $TO_{MED}$  = traffico orario medio lungo l'intera tratta (relativo allo stesso intervallo orario di  $TO_{MAX}$ ).

E' evidente che quando il valore di  $TO_{MAX}$  in una sezione è maggiore del corrispondente valore di  $TO_{MED}$ , le condizioni di circolazione sono pessime; il contrario si verifica quando  $TO_{MAX} < TO_{MED}$ .

↗  $I_A$  = *Indice Altimetrico*, consente di assegnare valori differenti in base all'entità e al tipo della pendenza longitudinale (positiva o negativa) ed al fatto che la sezione segua una con caratteristiche simili o differenti.

↗  $I_{PL}$  = *Indice Planimetrico*, tramite il quale vengono assegnati valori diversi in base alle caratteristiche planimetriche differenti (curva, clotoide o rettilo) ed al fatto che la sezione segua una con caratteristiche simili o differenti;

Affrontare elementi planimetrici o altimetrici differenti quando si viaggia provoca nel guidatore delle reazioni di adattamento che implicano un certo impegno.

Gli indici planimetrici ed altimetrici assumono il valore di 1 se la sezione che si sta analizzando ha le stesse caratteristiche della precedente, in caso contrario assumeranno un valore inferiore ad 1 la cui entità va ponderata in funzione delle differenti caratteristiche geometriche delle sezioni che si susseguono.

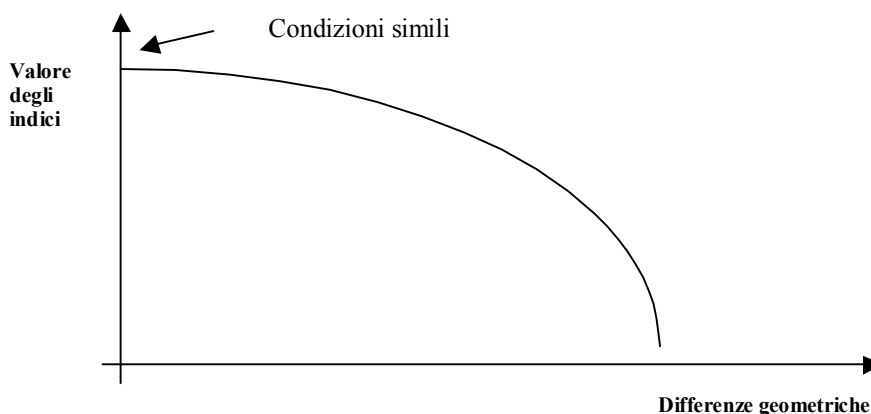


Fig. 8 Variabilità degli indici piani altimetrici

↗  $I_C$  = *Indice di Contorno*, che consente di assegnare differenti valori in base alla variabilità delle condizioni al contorno presenti sulle corsie;

Quando l'utente si trova a percorrere una strada in cui repentinamente cambiano le condizioni al contorno come nel caso in cui da una sezione a raso si passa ad una in galleria o quando si passa da una zona a forte illuminazione a una completamente buia, ha bisogno di un certo tempo di adattamento. E' possibile stabilire una scala di valori in base al tempo di adattamento. Si assegna il valore di 1 quando le sezioni che si susseguono hanno caratteristiche simili, man mano che cresce il tempo di adattamento tale valore scende a valori bassi.

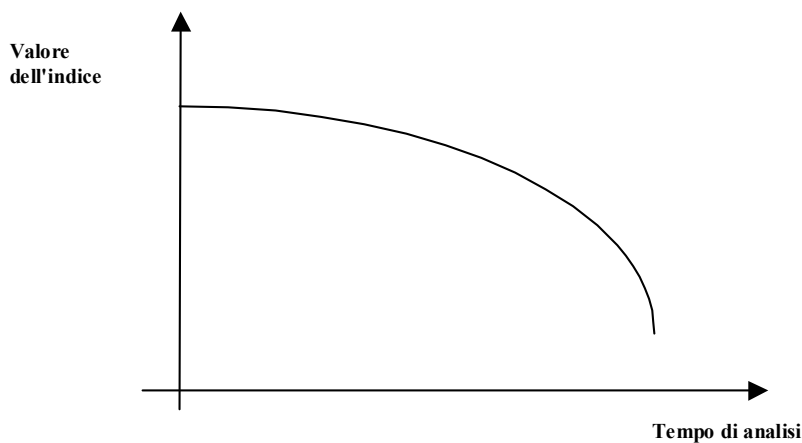


Fig. 9 Variabilità dell'indice di Contorno

- $I_L$  = Indice di Lunghezza, viene introdotto per poter ponderare numericamente l'influenza dello sviluppo longitudinale delle singole sezioni stradali; esso è esprimibile nella maniera seguente:

$$I_L = \frac{SL_i}{SL_{min}}$$

dove :  $SL_i$  rappresenta la lunghezza della sezione analizzata,

$SL_{min}$  rappresenta la sezione minima definita

Tramite la valutazione degli indici  $I_T$ ,  $I_{PL}$ ,  $I_A$ ,  $I_C$ ,  $I_L$ , è possibile determinare l'indice di previsione ( $I_{Pre}$ ) a mezzo della seguente relazione:

$$I_{Pre} = I_T * I_A * I_{PL} * I_C * I_L$$

Con l'introduzione dell'Indice di idoneità è stato realizzato uno strumento per individuare l'adeguatezza delle sezioni dal punto di vista della capacità di assolvere al proprio compito, mentre la definizione dell' $I_{Pre}$  (indice di previsione), permette di individuare le influenze che le caratteristiche plano-altimetriche e di traffico ed al contorno della sezione elementare in esame hanno sulla percorribilità in relazione alle aspettative che si generano nell'utente.

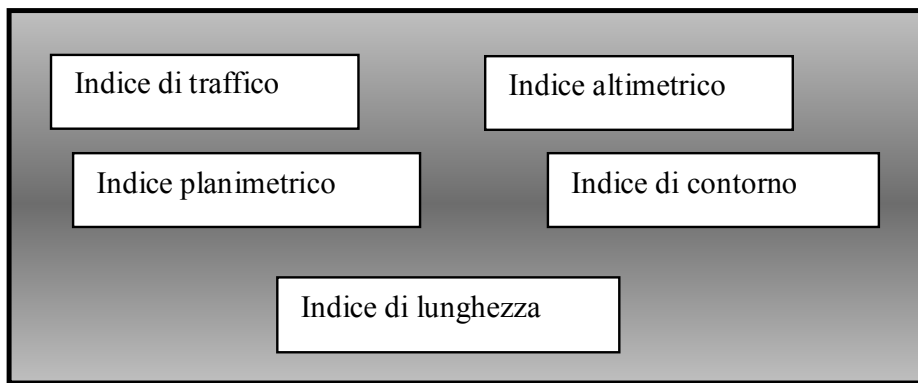


Fig. 10 Termini che concorrono alla definizione dell'indice di Previsione

Poiché lo scopo prioritario della definizione dei vari indici è quello di stabilire una gerarchia di funzionamento delle varie sezioni stradali, risulta indispensabile definire un indice che in modo univoco definisca la capacità della sezione di assolvere, con la massima sicurezza, il compito per cui è stata progettata. Nasce quindi l'indice di funzionalità ( $I_F$ ), definito dalla interazione tra l'indice di idoneità (che tiene conto delle caratteristiche fisiche della sezione stradale) e quello di previsione (che tiene conto delle aspettative dell'utente):

$$I_F = I_{\text{idoneità}} * I_{\text{Pre}}$$

Per come è stato definito, l'indice di funzionalità della sezione stradale rappresenta il parametro di correlazione con la probabilità che, in quella determinata sezione, si verifichi un incidente stradale.

## 8. VALUTAZIONE DELL'INDICE DI PERFORMANCE

L'attività di guida è una attività rischiosa, ossia una attività in cui diventa impossibile eliminare gli incidenti. Compito degli ingegneri stradali è quello di far sì che gli incidenti provochino il minor danno possibile in termini di vite umane e di danni materiali.

Per ogni sezione elementare è possibile definire una matrice di rischio (Fig.11) nella quale la prima riga, contiene l'indicazione di tutti gli eventi che possono produrre danni e nella prima colonna la quantificazione dei danni ottenibili.

I termini presenti sulla prima riga derivano dall'applicazione dell'albero degli eventi, in particolare è possibile riportare tutti gli eventi che possono provocare incidenti.

Per definire compiutamente la prima colonna della matrice occorre invece valutare la magnitudo probabile dell'evento incidentale.

Lo studio di diversi eventi incidentali ha dimostrato che la gravità dell'evento incidentale dipende dalle caratteristiche fisiche della sezione.

EVENTI \ DANNO	Velocità	Traffico	Nebbia	Pioggia	
1					
2					
3					
n					

$\sum D_i \times P_i$

Fig. 11 Matrice del rischio relativa ad una generica sezione.

Il risultato finale della matrice, somma di tutti gli eventi che possono fornire danno, moltiplicata per il danno probabile, fornisce il valore della rischiosità specifica della sezione elementare.

Poiché l'incidentalità fisiologica non è assolutamente eliminabile essendo collegata alle regole progettuali adottate, al parco veicolare circolante ed al comportamento umano è indispensabile investigare sulla sua distribuzione lungo l'infrastruttura.

Diversi studi hanno mostrato che l'incidentalità fisiologica dipende dal valore del flusso veicolare, dalla categoria della strada e dalla tipologia degli incidenti tanto che è possibile diagrammare per ogni tipo di strada il numero ed il tipo di incidente che potenzialmente possono accadere (Fig.12).

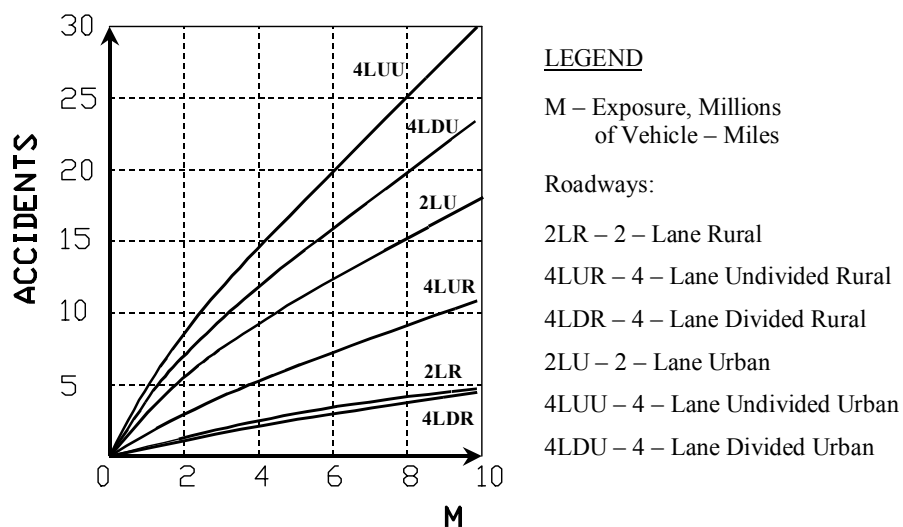


Fig. 12 Valori dell'incidentalità fisiologica ricavate nelle strade americane per la tipologia di incidente "tamponamento posteriore"

Caratterizzando le varie sezioni stradali attraverso l'indice di funzionalità risulta evidente che quelle con un più basso valore di  $I_F$  sono quelle con la probabilità più elevata di essere sede di incidenti; se, inoltre, esse sono caratterizzate da una magnitudo elevata, associata alle caratteristiche geometriche, allora, per esse, il valore del rischio incidentale è elevato.

E' possibile introdurre un nuovo parametro complessivo per classificare le varie sezioni elementari; si tratta dell'indice di performance. Tale indice è direttamente collegato con il valore della rischiosità, per cui più è alto il livello di rischio e meno performante è la sezione stradale (Fig. 13).

Livello di Rischio	Indice di PERFORMANCE
Normale (solo danni materiali)	ALTO
Condizionante (danni materiali notevoli)	MEDIO
Eccezionale (danni materiali e feriti)	BASSO
Estremo (Danni materiali e perdita di vite umane)	BASSISSIMO

Fig. 13 Scala di valori di performance di una sezione di infrastruttura stradale

Con l'introduzione dell'indice di performance si riesce ad individuare quelle sezioni che hanno vocazione a diventare sedi di incidenti con conseguenze molto pesanti in termini di vite umane o danni materiali.

## 9. CONCLUSIONI

Le infrastrutture stradali sono delle opere caratterizzate da un determinato grado di rischio. Il passaggio degli autoveicoli sopra la strada spesso può sfociare in un incidente, il quale rappresenta il non funzionamento della connessione strada – veicolo. Purtroppo la percorribilità stradale anche quella più efficiente o evoluta è sempre caratterizzata da un certo rischio di non funzionamento, tanto che molti autori concordano nella definizione di una incidentalità “fisiologica” delle infrastrutture stradali.

La definizione di un indice di idoneità della sezione stradale è il primo passo fondamentale che deve essere fatto per lo studio della rischiosità stradale. Inoltre essendo l'attività di guida una attività di tipo mnemonico è indispensabile introdurre un indice che tenga conto delle aspettative che ha l'utente stradale nell'affrontare le varie sezioni stradali, questo indice è stato definito “previsivo”. Puntare sulle aspettative che



ha l'utente nel percorrere la infrastruttura stradale diventa l'elemento fondamentale per l'individuazione degli indici di performance della rete stradale e per passare ad un miglioramento della sicurezza stradale, soprattutto nella realtà attuale, in cui l'enorme progresso tecnologico veicolare consente velocità di percorrenza elevate che non permettono all'utente alcuna indecisione sulle manovre da eseguire.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- [1] *AA. VV.* Generic Intelligent Driver Support - Ed. **Taylor & Francis** - 1993.
- [2] *A.A.V.V.* Effectiveness of highway safety improvements safety improvements – **John F. Carney III, Editor**
- [3] *G. Camomilla.* La sicurezza autostradale - **Atti della Giornata di Studio sul tema: La sicurezza intrinseca delle infrastrutture stradali** - Roma 20/21 Febbraio 1997.
- [4] *S. Canale, F. Nicosia, S. Leonardi.* L'efficienza globale delle infrastrutture stradali come elemento caratterizzante la sicurezza di percorribilità - **Atti del Convegno SIV: La sicurezza stradale: Strategie e strumenti dell'ingegneria delle infrastrutture viarie** - Pisa - 29/30 Ottobre 1997.
- [5] *S. Canale, S. Leonardi, F. Nicosia.* Nuovi criteri progettuali per una politica di sicurezza stradale - **Memoria accettata ed inserita negli Atti del XXIII Convegno Nazionale Stradale dell'A.I.P.C.R.** - Verona – Maggio 1998.
- [6] *S. Canale, F. Nicosia, S. Leonardi.* Traffic, speed and safety (31 st. I.S.A.T.A., Dusseldorf, Germany 2-5 JUNE 1998).
- [7] *S. Canale, F. Nicosia, S. Leonardi.* Pericolosità stradale ed interventi per ottenere l'isolarischiò di percorrenza – **Atti del Convegno SIV (Adeguamento funzionale e manutenzione delle infrastrutture viarie)** – Milano – 19/20 Ottobre 1998.
- [8] *H.J. Emmelmann.* Fahrstabilitat bei seitenwind - **Aerodynamik d. Automobils** - Vogel-Verlag - 1981.
- [9] *B. Fischhoff, S. Lichtenstein, P. Slovic, R. Keeney, S. Derby.* Approaches to acceptable risk: a critical guide - **NUREG/CR 1614** – Washington - 1980.
- [10] *R. James, G. Wells.* Safety reviews and their timing - **Journal of Loss Prevention in the Process Industries** - vol.7 – n°1/1994.
- [11] *D. Jones.* Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries - **Institute of Chemical Engineer** – Rugby (UK) - 1992.
- [12] *C. Kraemer, S. Boccalieri Rocci, V. Blanco Sanchez.* Trazado de Carreteras - Ed. **Rugart S.L.** - 1992.
- [13] *M. Lepofosk, M. Abkowitz, P. Cheng.* Transportation Hazard analysis in integrated G.I.S. environment - **Journal of Transportation Engineering** – Vol. 119, n° 2 – March/April 1993.
- [14] *W.W. Lowrence.* Of acceptable risk – **Kaufman** - Los Altos (California) - 1976.

- [15] **G. Macpherson.** Highway & Transportation Engineering & Planning – Ed. Longman Scientific & Technical – 1993.
- [16] **F. Nicosia, S. Leonardi.** Proposta di una metodologia di classificazione delle infrastrutture stradali in base all'efficienza - **Atti del 9° Congresso Nazionale AIIT sul tema (II<sup>a</sup> sessione): Esperienze e proposte per il miglioramento della mobilità urbana ed extraurbana** - Roma - 6/7 Novembre 1997.
- [17] **B. Peacock, W. Karwowski.** Automotive Ergonomics - Ed. Taylor & Francis - 1993.
- [18] **F. Salvatore.** Modello comportamentale del fattore umano negli incidenti in autostrada – **Riv. Autostrade** - 4/1994.
- [19] **Transportation research.** International harmonization of testing and evaluation procedures for roadside safety features – **Circular number 396** – May 1992.