



**PROPOSTA DI UNA METODOLOGIA
PER LA SCELTA DEI DISPOSITIVI DI
PROTEZIONE SUI RILEVATI STRADALI**

**Salvatore Leonardi
Giuseppina Pappalardo**

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Sezione: Ingegneria delle Infrastrutture Viarie e dei Trasporti
Università di Catania – Viale Andrea Doria 6 – 95125 – Catania – Italy
Tel: +39.095.7382202
Fax: +39.095.7382247
E-mail: sleona@dica.unict.it
E-mail: giusy.pap@dica.unict.it

PROPOSTA DI UNA METODOLOGIA PER LA SCELTA DEI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE SUI RILEVATI STRADALI

SALVATORE LEONARDI – D.I.C.A. – Università degli Studi di Catania

GIUSEPPINA PAPPALARDO – D.I.C.A. – Università degli Studi di Catania

SOMMARIO

L'altezza e la pendenza dei rilevati stradali sono i fattori principali nel condizionare la severità dei sinistri in caso di ribaltamento di un veicolo. La probabilità di fuoriuscita è invece influenzata principalmente dalla velocità e dall'entità del flusso veicolare. In questa memoria, si è cercato di affrontare tali problematiche tramite l'analisi del rischio; in particolare, verrà proposta una procedura utile per le diverse scelte (installazione di barriere, combinazioni opportune di altezza e pendenza delle scarpate) nel caso di strade di nuova realizzazione, o per la predisposizione di interventi di adeguamento nel caso di infrastrutture già esistenti.

ABSTRACT

The height and the slope of the embankment are the main factors which contribute to the severity of the impact in case of vehicle rollover. The probability to leave the road is, instead, influenced from the speed and the vehicular flow. In this paper, we have tackled such problematic through risk's analysis; in particular, useful procedure for the various choice (installation of barriers, opportune combinations of height and slope of embankment) in the case of new roads, or for the predisposition of adjustment in existing infrastructure will come proposed.

1. INTRODUZIONE

Tra i compiti che fanno capo all'ingegnere stradale c'è, in primo luogo, quello relativo alla scelta ed all'organizzazione della sezione stradale; ciò si esplicita in un iter progettuale di seguito sintetizzato:

- conformazione geometrica della piattaforma (dimensioni delle corsie, delle banchine e dello spartitraffico, se presente);
- progettazione strutturale della sovrastruttura (dalle fondazioni agli strati superficiali);
- scelta razionale degli elementi d'arredo stradale (dispositivi di ritenuta, impianti di illuminazione, ecc.).

Si tratta evidentemente di aspetti direttamente ed indirettamente collegati alla sicurezza stradale, sia attiva che passiva. In tale contesto, un ulteriore aspetto di cui il progettista dovrebbe occuparsi con altrettanto senso di responsabilità è il dimensionamento dei cosiddetti margini: centrali interni (spartitraffico) ed esterni (laterali o bordi) di pertinenza, sedi naturali ove vengono installati i dispositivi di ritenuta.

La sicurezza dei margini [16], che in Italia ha suscitato finora scarso interesse, assume un ruolo importante; è stato, infatti, dimostrato che gli spazi di margine influiscono sul comportamento dell'utente (e quindi prima che si verifichi l'incidente),

costituendo inoltre la base necessaria per la prestazione attesa dei dispositivi di ritenuta (ad incidente ormai avvenuto).

A tal proposito, i dati ISTAT del 1999 [8] confermano come la fuoriuscita dalla piattaforma stradale rappresenti la tipologia di incidente più frequente, nella quale è coinvolto un veicolo isolato (figura 1).

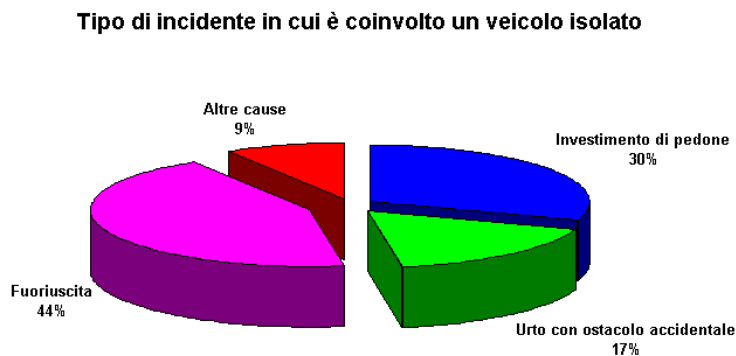


Figura 1 – Tipo di incidente in cui è coinvolto un veicolo isolato [8].

Alcuni elementi compositivi progettuali e costruttivi del corpo stradale, posti ai margini degli spazi pavimentati, come le scarpate degli scavi, lo spartitraffico e tutti gli oggetti fissi e rigidi, gli specchi o corsi d'acqua e le altre infrastrutture intersecate e fiancheggiate, costituiscono i potenziali fattori di rischio, che un veicolo dovrà affrontare nel caso di perdita accidentale di traiettoria, con fuoriuscita incontrollata dalla piattaforma stradale.

Numerose sono le ragioni che possono causare la fuoriuscita di un veicolo dalla sede stradale (figura 2), alcune delle quali si connettono direttamente al fattore umano che, a sua volta, è del tutto dipendente da processi percettivi visuali dello spazio stradale.



Figura 2 – Incidente per fuoriuscita dalla sede stradale e caduta dal rilevato.

Quando un veicolo si avvicina ad un oggetto posto a margine della carreggiata, nella maggior parte dei casi l'utente reagisce modificando la sua traiettoria durante la corsa.

Studi sperimentali, eseguiti sulla base di considerazioni teoriche, hanno permesso di verificare che la distanza laterale degli oggetti viene valutata in funzione della percezione, da parte del conducente, e della variazione nel tempo dell'angolo sotteso dall'oggetto [12]. Se la velocità aumenta, affinché un oggetto posto lateralmente non crei una sensazione di disturbo al conducente, esso deve essere collocato ad una distanza laterale crescente. Se, infatti, un oggetto è disposto all'interno del campo visivo del guidatore, ma la sua distanza laterale è tale da non generare un'immagine che scorra sulla retina con una velocità angolare al di sopra del valore di soglia, l'oggetto sembra essere ubicato lungo la traiettoria del veicolo che comincerà a spostarsi lateralmente per evitarlo, col rischio di pregiudicare il livello di servizio complessivo (e quindi anche in termini di sicurezza) dell'infrastruttura. Ma se le aree poste ai margini laterali potessero realizzarsi praticamente molto ampie, pianeggianti e senza ostacoli di sorta (alberi, muri, ecc.), la probabilità di alterazioni della percezione visiva per effetto di elementi intrusivi quasi si annullerebbe e inoltre le conseguenze di una fuoriuscita accidentale potrebbero ridursi in maniera drastica.

Il miglioramento della sicurezza dei margini stradali [14] può avvenire, pertanto, attraverso differenti tipologie di intervento: rimozione degli ostacoli, loro spostamento in punti nei quali è minore la probabilità che siano colpiti, riduzione della pericolosità di quelli che non è conveniente o possibile spostare, protezione con dispositivi stradali di ritenuta come le barriere di sicurezza e gli attenuatori d'urto. I primi tre tipi d'intervento, a causa della presenza di vincoli per lo spostamento degli ostacoli e della modesta dimensione della fascia di rispetto delle infrastrutture stradali, non sempre sono possibili: spesso l'unico intervento attuabile è proteggere gli ostacoli con dispositivi di ritenuta. Le misure d'attenuazione delle conseguenze incidentali si riducono, in sostanza, all'accettazione di una modalità di riduzione delle azioni d'impatto, da esaminare sempre in relazione alle risorse economiche e di spazio, effettivamente disponibili.

Nell'ambito della presente memoria s'intende, in primo luogo, studiare tutte le possibili combinazioni (in termini di traffico, pendenza ed altezza dei rilevati) associate ai potenziali livelli di pericolosità offerti dai rilevati stradali in caso di fuoriuscita dei veicoli.

La metodologia utilizzata per la prima fase dello studio è l'analisi del rischio, che ha già fornito interessanti risultati in altri contesti associati alla sicurezza delle infrastrutture stradali. La seconda parte della ricerca sarà orientata verso la proposta di un iter procedurale che, tramite opportuni dati di input, arriva a porre il progettista di fronte a diverse alternative di intervento:

- installazione di barriere;
- variazione della pendenza delle scarpate;
- nessun intervento.

La scelta di uno o di un altro criterio di intervento deve necessariamente essere vagliata in funzione di due metodologie d'indagine in un certo senso complementari: l'analisi del rischio e l'analisi costi – benefici.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il Decreto Ministeriale del 3/6/98 “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza” individua le zone che occorre obbligatoriamente proteggere con dispositivi di ritenuta [5]:

- ✓ i bordi di tutte le opere d'arte all'aperto;

- ✓ lo spartitraffico;
- ✓ il bordo laterale nelle sezioni in rilevato con pendenza maggiore o uguale a 2/3;
- ✓ gli ostacoli fissi posti ad una distanza dal ciglio esterno della carreggiata inferiore ad una distanza di sicurezza, che deve valutare il progettista in funzione della velocità di progetto della strada, del volume di traffico, del raggio di curvatura dell'asse stradale, della pendenza della scarpata e della pericolosità dell'ostacolo.

Anche se le indicazioni del D.M. costituiscono un importante riferimento, sono numerose le situazioni in cui il progettista non dispone di indicazioni normative o strumenti analitici che gli consentano di valutare, al di là del suo giudizio soggettivo, la convenienza di installazione di barriere di sicurezza.

E' questo il caso dei rilevati con pendenza inferiore a 2/3, in cui la necessità di protezione dipende dalla combinazione della pendenza e dell'altezza della scarpata e delle situazioni di potenziale pericolosità a valle della scarpata, delle trincee.

Si ribadisce come uno degli obiettivi della presente ricerca sia proprio quello di fornire al progettista una procedura abbastanza flessibile che gli consenta di superare le ambiguità che provengono dai "buchi" presenti nell'attuale normativa.

3. LA CLASSIFICAZIONE E L'ANALISI DEI RILEVATI

L'altezza e la pendenza di un rilevato sono fattori principali nel condizionare la gravità delle conseguenze in caso di fuoriuscita dei veicoli dalla sede stradale.

E' generalmente adottata una classificazione dei rilevati [9], che prevede le seguenti distinzioni in funzione della pendenza:

- ✓ **rilevati a basso grado di criticità:** sono caratterizzati da pendenze delle scarpate minori o uguale a 1/4. I veicoli che fuoriescono dalla carreggiata possono generalmente arrestarsi oppure rallentare ed effettuare in sicurezza le manovre di reinserimento nella sede stradale;
- ✓ **rilevati a medio grado di criticità:** le pendenze delle scarpate sono comprese tra 1/4 e 1/3. Il veicolo che fuoriesce ha una scarsa probabilità di ribaltarsi; tuttavia non può né arrestarsi né rallentare per potersi reimmettere in carreggiata;
- ✓ **rilevati ad elevato grado di criticità:** hanno pendenze superiori ad 1/3. La criticità delle alte pendenze è associata ad un'elevata probabilità che si manifesti il ribaltamento (rollover) dei veicoli fuoriusciti dalla sede stradale.

E' possibile mettere in evidenza come possano presentarsi casi in cui la conformazione del rilevato è tale da provocare danni meno severi di quelli che si verificherebbero in presenza delle barriere di sicurezza; in tali situazioni l'installazione delle barriere oltre ad essere non necessaria, potrebbe arrecare danni significativi in caso di impatto.

In tale contesto, sono interessanti i risultati provenienti dall'analisi della "Curva di Isoleverità" (figura 3). Sviluppata da un'indagine effettuata negli Stati Uniti sugli incidenti per fuoriuscita dal bordo rilevato sulle autostrade senza pedaggio e da test realizzati con veicoli in scala reale su rilevati piani, consente di determinare la severità associata alla caduta da un rilevato o all'urto contro una barriera di sicurezza stradale [10].

La curva rappresenta le combinazioni tra altezza e pendenza del rilevato che causano incidenti di gravità pari all'urto contro una barriera di sicurezza. L'area sottostante la curva indica situazioni in cui l'utilizzo dei sistemi di ritenuta apporta danni più gravi rispetto alla caduta da un rilevato; condizione opposta ritroviamo nell'area superiore.

Ciò conferma come le barriere stradali debbano essere installate soltanto quando risulta evidente la possibilità di ridurre la severità dell'urto.

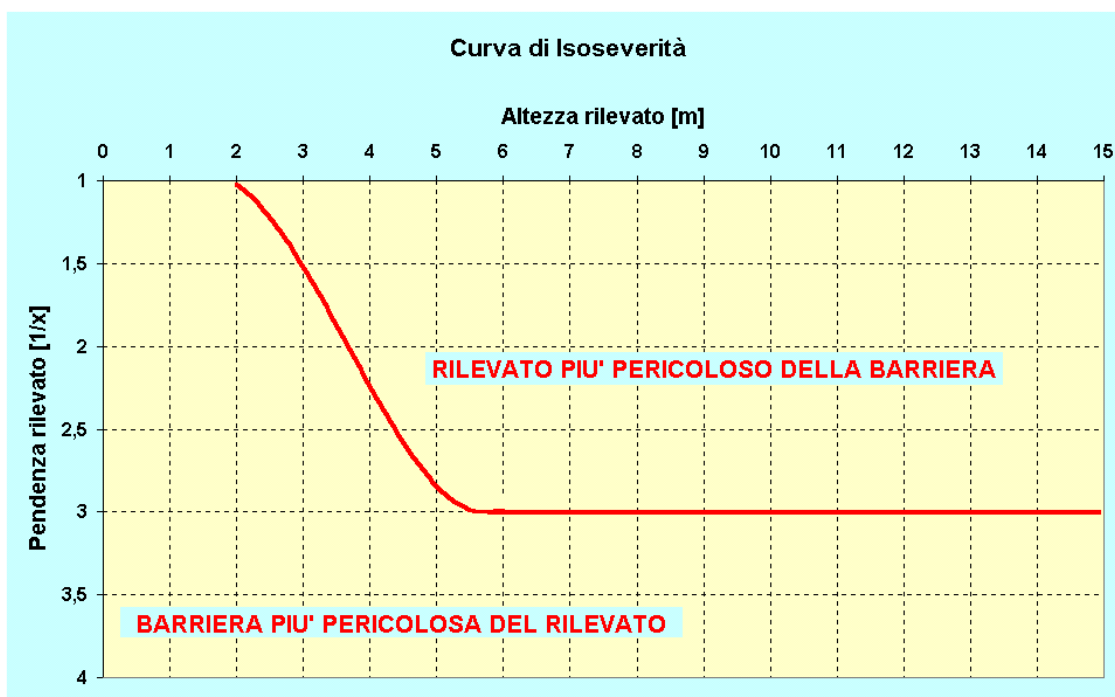


Figura 3 – Curva di Isoleverità [10].

La barriera non è pertanto una barricata da utilizzare in modo indiscriminato, come sorta di ripiego, ma deve costituire un utile compromesso tra domanda ed offerta, sia in termini economici e sia in termini di protezione degli occupanti di un veicolo.

4. ELABORAZIONE DI UNA PROCEDURA DI ANALISI DEL RISCHIO

Nell'ambito della presente ricerca si è realizzata una procedura, basata sull'analisi del rischio, per la scelta degli interventi di adeguamento dei margini stradali e per la selezione delle classi di severità delle barriere. In generale, si definisce "rischio" il danno incerto a cui un dato soggetto si trova esposto in seguito a possibili eventi o concatenazione favorevole degli stessi. Da un punto di vista analitico, può essere caratterizzato come la combinazione dei danni o delle conseguenze negative e delle probabilità ad esse associate [11]. La ricerca di una situazione con minor rischio (ovvero con un maggiore grado di sicurezza) significherà pertanto una diminuzione dell'entità delle conseguenze o della probabilità, oppure di entrambe.

La definizione quantitativa convenzionalmente adottata di rischio è:

$$R = f * M$$

dove f indica la frequenza di accadimento dell'evento incidentale e M denota la magnitudo dei suoi effetti, ovvero la consistenza delle sue conseguenze; la grandezza R, che è quella che rappresenta il rischio, prende il nome di "indice di rischio". Tale definizione tiene in egual conto sia le conseguenze provocate da un incidente sia la probabilità che tale incidente ha di verificarsi.

L'analisi del rischio in campo stradale diviene uno strumento importante ed indispensabile, non solo per identificare le cause ed i fattori che stanno alla base

dell'evento "incidente", ma soprattutto per fornire informazioni utili alla sua prevenzione e riduzione.

Nell'ambito delle problematiche connesse all'incidentalità stradale non si può prescindere dal prendere in considerazione il binomio inscindibile costituito dalle caratteristiche dell'infrastruttura e dal comportamento dell'utente; in effetti tale binomio è il principale "indiziato" come responsabile della sinistrosità stradale. Se si considera poi la convergenza casuale ed immediata di ulteriori fattori sinergici nella definizione delle condizioni di rischio in campo stradale, si comprende come sia estremamente difficoltosa, quasi impossibile, un'analisi sistemica e deterministica del problema. Infatti, studi specifici basati esclusivamente sull'incidentalità osservata sulla rete, pur potendo dare risoluzione logica del singolo evento, non possono certamente definire una scala di pericolosità, o condizione di rischio, per le infrastrutture. L'influenza dei singoli fattori (comportamento umano, condizione ambientali, caratteristiche del veicolo e dell'infrastruttura, ecc.) può essere rilevata soltanto se si affronta il problema sulla base di un'analisi statistica multivariata, relativa ad un campione abbastanza ampio ed opportunamente disaggregato. Occorre, quindi, una visione globale che consenta di definire un modello per conoscere in anticipo il "rischio" dell'infrastruttura e, quindi, prevenirlo.

Nel presente lavoro, si è definito il seguente indice di rischio:

$$I_R = F * S$$

dove:

F= frequenza di accadimento dell'incidente per fuoriuscita;

S= Coefficiente di severità del sinistro.

4.1. Definizione della frequenza di accadimento degli incidenti

Per quel che concerne la definizione della probabilità (o frequenza) del verificarsi di fuoriuscite dalla sede stradale si è adottato il criterio, già utilizzato in analoghi contesti, di introdurre una correlazione con l'entità dei volumi di traffico: al crescere delle portate veicolari, s'incrementa la frequenza dei veicoli coinvolti in qualche tipologia di incidente; si può pensare pertanto anche ad una variazione positiva della probabilità che si verifichino incidenti per fuoriuscita all'aumentare dei flussi veicolari transitanti.

Si è scelto come parametro di riferimento il Traffico Giornaliero Medio Equivalente (TGM)_E e gli si è imposto un campo di variabilità compreso tra 0 e 100000 veic/h; si è infine imposto il massimo valore di frequenza di accadimento (F=1) all'estremo superiore del (TGM)_E.

Riguardo alla definizione del traffico giornaliero medio equivalente, s'intende proporre un criterio adeguato a mettere in conto il contributo dei mezzi commerciali dal punto di vista del differente ruolo, rispetto ai mezzi leggeri, nei confronti delle potenziali condizioni d'impatto contro i dispositivi di ritenuta. In Italia è in vigore un decreto (D.M. 6/04/1998) che recepisce una serie di normative valide in campo europeo e che individua le diverse combinazioni di carico dei mezzi commerciali in funzione del tipo di veicolo (veicolo a motore, autosnodato, autoarticolato, autotreno, rimorchio) e del numero di assi (da 2 ad un massimo di 6) [7].

La tabella 1 sintetizza le indicazioni fornite dal decreto suddetto.

Da un'analisi delle possibili combinazioni di mezzi commerciali relative al parco veicolare italiano e, considerando mediamente pari ad una tonnellata il peso di una comune vettura utilitaria, è stato possibile ricavare un coefficiente di equivalenza tra mezzi pesanti e mezzi leggeri pari a: $E_1=30$.

VEICOLI	PESO MASSIMO AUTORIZZATO [T]
Rimorchio a 2 assi	18
Rimorchio a 3 assi	24
Autotreno a 5-6 assi	
• a 2 assi con rimorchio a 3 assi	40
• a 3 assi con rimorchio a 2-3 assi	40
Autoarticolato a 5-6 assi	
• a 2 assi con semirimorchio a 3 assi	40
• a 3 assi con semirimorchio a 2-3 assi	40
• a 3 assi con semirimorchio a 2-3 assi (con container)	44
Autotreno a 4 assi	36
Autoarticolati a 4 assi	36
Veicoli a motore a 2 assi	18
Veicoli a motore a 3 assi	25 – 26
Veicoli a motore a 4 assi	32
Autosnodati a 3 assi	28

Tabella 1– Peso massimo autorizzato in tonnellate delle diverse tipologie di veicoli (D.M. 6/04/98) [7].

Il coefficiente di equivalenza E_1 risulta evidentemente definito esclusivamente in relazione ad un confronto tra le masse delle due tipologie di veicoli.

Interessa, a questo punto, introdurre un ulteriore parametro al fine di poter definire un fattore di equivalenza in termini “energetici”. Ricordiamo, in proposito, che l’energia cinetica posseduta da un qualsiasi veicolo al momento dell’impatto contro un ostacolo è data dalla seguente espressione:

$$E = \frac{1}{2}MV^2 \text{sen}^2 \varphi \quad [1]$$

dove:

M= massa del veicolo;

V= velocità del veicolo al momento dell’urto;

φ = angolo d’impatto.

Il fattore di equivalenza energetico (E_G) è pertanto definito dal seguente rapporto:

$$E_G = \frac{E_{PESANTE}}{E_{LEGGERO}} = \frac{\frac{1}{2}M_{PESANTE} * V_{PESANTE}^2 * \text{sen}^2 \varphi_{PESANTE}}{\frac{1}{2}M_{LEGGERO} * V_{LEGGERO}^2 * \text{sen}^2 \varphi_{LEGGERO}} \quad [2]$$

A parità di angolo d’impatto si ha:

$$E_G = \frac{M_{PESANTE} * V_{PESANTE}^2}{M_{LEGGERO} * V_{LEGGERO}^2} \quad [3]$$

In virtù delle osservazioni svolte precedentemente a proposito dei pesi delle due tipologie di veicoli, possiamo dedurre che:

$$E_G = 30 * \frac{V_{PESANTE}^2}{V_{LEGGERO}^2} \quad [4]$$

Osserviamo poi che la velocità statisticamente più frequente a cui attingono i mezzi pesanti è circa 30 – 40 Km/h inferiore a quella corrispondente per i veicoli leggeri. Sostituendo, pertanto, nella [4], differenti range di variabilità per le velocità dei mezzi leggeri e dei mezzi pesanti si ottiene un campo di variazione di E_G compreso tra 12 e 18. Si può scegliere dunque, con buona approssimazione, $E_G=15$.

In definitiva se indichiamo con:

- $(TGM)_{LEGGERI}$ = Traffico Giornaliero Medio dei veicoli leggeri;
 - $(TGM)_{PESANTI}$ = Traffico Giornaliero Medio dei veicoli pesanti
- è possibile definire il Traffico Giornaliero Medio Equivalente nel modo seguente:

$$(TGM)_E = (TGM)_{LEGGERI} + E_G * (TGM)_{PESANTI} \quad [5]$$

ovvero:

$$(TGM)_E = (TGM)_{LEGGERI} + 15 * (TGM)_{PESANTI} \quad [6]$$

4.2. Definizione del coefficiente di severità di sinistri

Per la definizione del coefficiente di severità del sinistro si è adottata una procedura che trae origine dal diagramma riportato in figura 3. In particolare (figura 4) si sono definite 15 curve di isoseverità; si è cioè suddivisa l'area del diagramma in porzioni delimitate da curve equidistanti a partire da quella standard proposta dalla letteratura americana. Ad ognuna di tali curve è stato associato un valore differente del parametro S, il quale presenta un intervallo di variazione compreso tra 0 e 1; ad esempio:

- il valore nullo ($S=0$) compete a quei rilevati di altezza massima pari ad un metro e caratterizzati da scarpate di pendenza compresa tra 1/3 e 1/4;
- il valore massimo di severità ($S=1$) è attribuito a quelle scarpate ripide (pendenza prossima a 1/1) appartenenti a rilevati di altezza superiore a 13 metri;
- la curva standard (quella che delimita le aree in cui il rilevato risulta essere più pericoloso della barriera di sicurezza e viceversa) presenta un valore di S pari a 0.28.

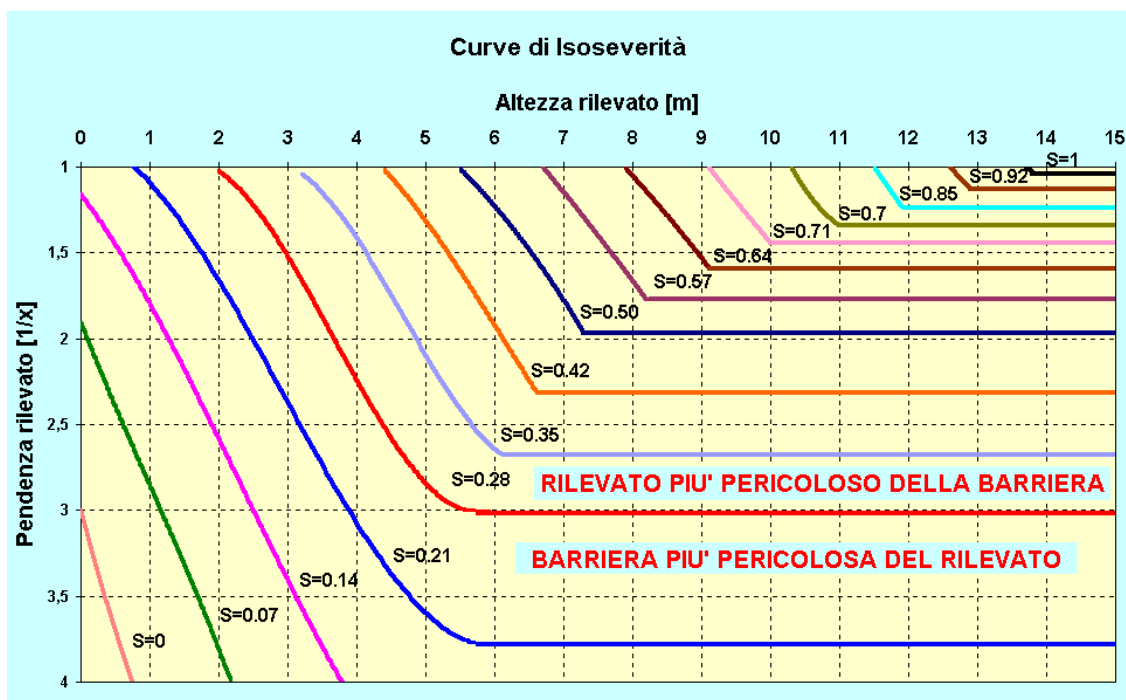


Figura 4 – Curve di Isoseverità.

4.3. Abachi per la valutazione del rischio associato ai tratti stradali in rilevato

La procedura esposta fino a questo punto permette di individuare tre parametri utili per la caratterizzazione del livello di pericolosità dei rilevati; si tratta di:

- pendenza delle scarpate;

- altezza dei rilevati;
- Traffico Giornaliero Medio Equivalente.

Tutti e tre i parametri sopraelencati entrano in gioco nella determinazione dell'indice di rischio (I_R); in funzione dei valori che possono essere assunti da tale indice sono state definite le classi di rischio riportate nella tabella 2.

INDICE DI RISCHIO	LIVELLO DI RISCHIO
$0 < I_R \leq 0.2$	Minimo
$0.2 < I_R \leq 0.4$	Medio
$0.4 < I_R \leq 0.6$	Alto
$0.6 < I_R \leq 1$	Eccezionale

Tabella 2 – Correlazione tra indice e livello di rischio.

Si vuole adesso proporre una serie di abachi utili a fornire una visualizzazione immediata del grado di rischio associato alla percorribilità dei tratti di strada in rilevato. Il primo passo è stato quello di creare un legame tra i livelli di rischio definiti nel presente studio e le diverse tipologie di barriere classificate, in funzione del livello di contenimento, dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 3/06/98. In base alle istruzioni riportate in tale decreto vengono definite (tabella 3) le classi minime di barriere in funzione del tipo di strada, traffico e destinazione d'uso.

Tipo di strade	Traffico	Destinazione barriere			
		Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte	Attenuatori
Autostrade (A) e strade extraurbane principali (B)	I	H ₂	H ₁	H ₂	TC1 o TC2 secondo velocità ≤ oppure > di 80 Km/h.
	II	H ₃	H ₂	H ₃	
	III	H ₃ -H ₄ (*)	H ₂ -H ₃ (*)	H ₄	
Strade extraurbane secondarie (C) e Strade urbane di scorrimento (D)	I	H ₁	N ₂	H ₂	
	II	H ₂	H ₁	H ₂	
	III	H ₂	H ₂	H ₃	
Strade urbane di quartiere (E) e Strade locali (F)	I	N ₂	N ₁	H ₂	
	II	H ₁	N ₂	H ₂	
	III	H ₁	H ₁	H ₂	

(*) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista in funzione dell'ampiezza W della larghezza utile della barriera scelta, delle caratteristiche geometriche della strada, della percentuale di traffico pesante (di massa superiore a 3000 kg) e della relativa incidentalità.

Tabella 3 – Classi minime di barriere da impiegare in funzione del tipo di strada, traffico e destinazione d'uso [5].

Nel caso particolare dei dispositivi di ritenuta da impiegare a protezione dei margini laterali vengono proposte cinque tipologie di barriere di sicurezza (tabella 4).

CLASSE	L _C [KJ]
N ₁	44
N ₂	82
H ₁	127
H ₂	288
H ₃	463

Tabella 4 – Livello di contenimento per le classi di barriere per bordo laterale [13].

Si è adottato il criterio di associare ad ogni livello di rischio una differente tipologia di barriera. In relazione alla definizione di Traffico Giornaliero Medio Equivalente tramite la [6] che comporta l'attingimento di valori di rischio via via crescenti con l'aumentare della percentuale di mezzi pesanti, si è scelto di associare le barriere caratterizzate dai valori più alti dell'indice di contenimento ai livelli di rischio più elevati; in particolare si sono introdotte quattro classi di funzionalità dei dispositivi di ritenuta (K_1 , K_2 , K_3 , K_4) definite in relazione ai potenziali livelli di rischio in base alle indicazioni riportate nella tabella 5.

INDICE DI RISCHIO	LIVELLO DI RISCHIO	CLASSE DI FUNZIONALITA'	DESTINAZIONE D'USO		
			Autostrade - Strade extr. princ.	Strade extr. sec. - Strade urb. di scorr.	Strade urb. di quart. - Strade locali
$0 < I_R \leq 0.2$	Minimo	K_1	H ₁	N ₂	N ₁
$0.2 < I_R \leq 0.4$	Medio	K_2	H ₂	H ₁	N ₂
$0.4 < I_R \leq 0.6$	Alto	K_3	H ₂	H ₂	H ₁
$0.6 < I_R \leq 1$	Eccezionale	K_4	H ₃	-	-

Tabella 5 – Classi di funzionalità dei dispositivi di ritenuta.

L'aver definito le quattro classi di funzionalità ha consentito di suddividere gli abachi per la valutazione delle condizioni di rischio associate ai rilevati stradali in ulteriori aree (con tonalità cromatiche differenti) identificate dalle diverse indicazioni delle classi di funzionalità.

In definitiva sono stati costruiti quattro abachi, relativi ad altrettanti valori della pendenza delle scarpate (1/1, 1/1.5, 1/2, 1/3), in cui sono riportate le curve di isorischio dedotte tramite la procedura di analisi di rischio elaborata (fig. 4).

Ognuno di tali abachi presenta inoltre un segmento che ne divide l'area in due zone: una rappresentativa delle situazioni in cui è necessario l'utilizzo dei sistemi di ritenuta stradali, e l'altra in cui tali dispositivi, oltre a non essere necessari, possono addirittura divenire pericolosi.

Da una prima analisi dei risultati ottenuti è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- nel caso di rilevati con rapporto di pendenza pari a 1/1, si attraversano tutte le possibili situazioni di rischio (I_R varia da 0.1 fino al valore massimo). Le configurazioni che non richiedono l'impiego di dispositivi di ritenuta sono quelle associate ad un'altezza dei rilevati inferiore a 2 metri;
- quando la pendenza delle scarpate è uguale a 1/1.5 i potenziali gradi di rischio possono raggiungere, al massimo, il livello alto. L'utilizzo delle barriere di sicurezza non è richiesto per altezze dei rilevati minori di 3 metri;
- per rilevati con pendenza delle scarpate pari a 1/2, si ha, nelle situazioni peggiori, un valore di I_R associato alle condizioni di rischio medie. Per altezze dei rilevati inferiori a 3.5 m non si richiede l'impiego di alcun elemento di ritenuta;
- i rilevati con scarpate molto "dolci" (pendenza pari a 1/3) presentano generalmente livelli di rischio minimi. L'impiego delle barriere di sicurezza è necessario soltanto per altezze superiori a 6 metri;
- riguardo poi la scelta dei diversi tipi di barriere, si sottolinea come i dispositivi a più alto livello di contenimento (classe funzionale K_4) siano associati alle situazioni maggiormente gravose (flussi veicolari sostenuti, altezze elevate dei rilevati); ciò conferma non solo l'inutilità di adottare barriere di sicurezza ad elevate prestazioni nelle situazioni che non lo richiedono, ma anche la rischiosità determinata dalla potenziale presenza di elementi di contenimento troppo rigidi.

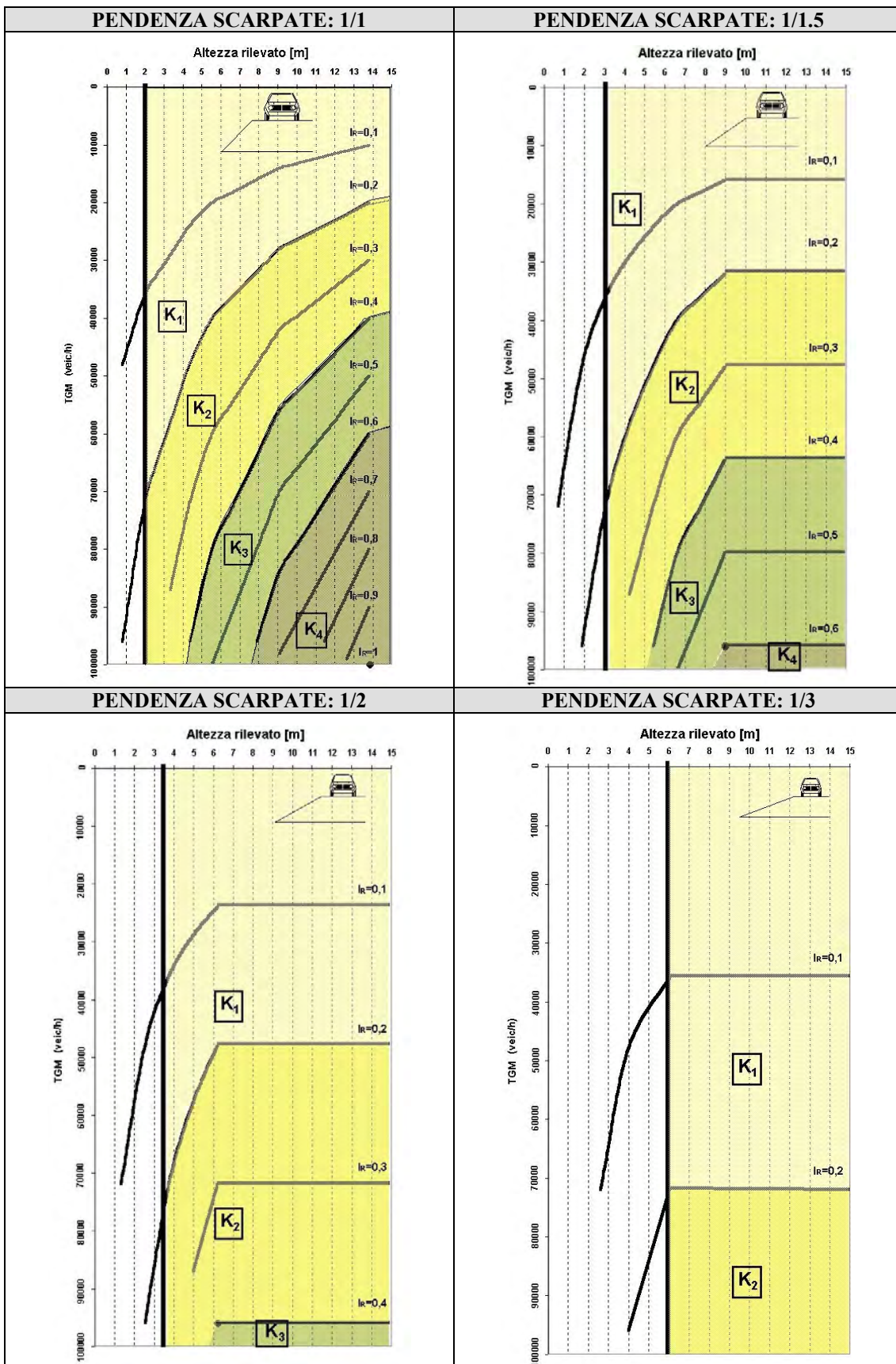


Figura 5 – Abachi per la valutazione delle condizioni di rischio nel caso di rilevati stradali.

5. DEFINIZIONE DI UNA PROCEDURA RAZIONALE PER LA SCELTA DEGLI INTERVENTI SUI TRATTI STRADALI IN RILEVATO

Nel paragrafo precedente si è esposta una metodologia d'indagine, basata sull'analisi del rischio, per mezzo della quale è possibile valutare le caratteristiche di pericolosità dei rilevati stradali anche in relazione all'effettiva probabilità che si verifichi l'incidente per fuoriuscita dalla carreggiata.

Tramite tale metodologia si è giunti anche alla possibilità di determinare le situazioni in cui le barriere di sicurezza sono realmente necessarie e di definire la tipologia di dispositivi di ritenuta che è conveniente impiegare.

Si ritiene che la procedura proposta possa costituire un semplice ma determinante tassello nel contesto di un iter metodologico per la verifica di situazioni esistenti o per l'impostazione di progetti ex – novo, schematizzato nella flow chart di figura 6.

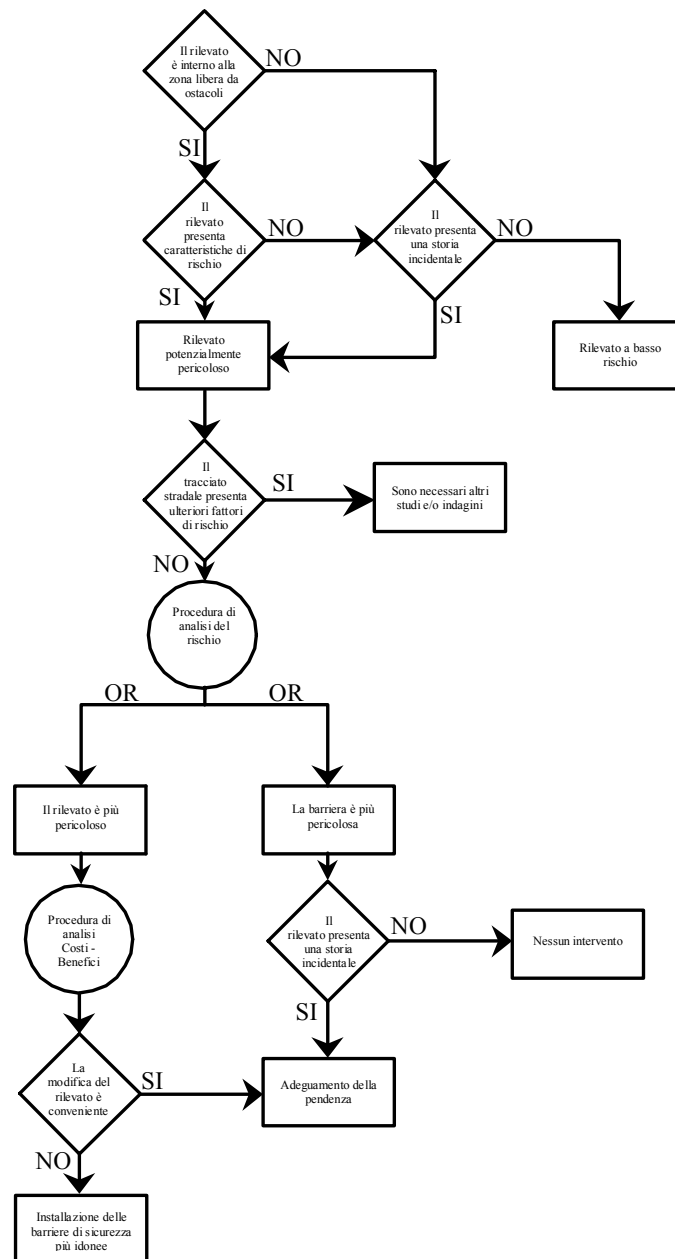


Figura 6 – Flow chart della procedura di analisi per la scelta degli interventi sui tratti stradali in rilevato.

Il primo passo di questo iter consiste nella identificazione della pericolosità del rilevato. Se questo, infatti, ricade all'interno della "clear - zone", è necessario verificare gli attributi che possono renderlo pericoloso ai fini della sicurezza della circolazione.

La "clear - zone" è definita come l'area adiacente alla carreggiata dove un veicolo privo di controllo può fermarsi senza il rischio di urtare un ostacolo. Tale distanza è funzione della velocità di progetto, del volume di traffico e della pendenza del terreno adiacente alla strada, essa aumenta per velocità e volumi di traffico elevati e per pendenze molto ripide: è facilmente intuibile come un veicolo che procede a velocità elevate abbia una maggiore probabilità di fuoriuscita dalla sede stradale rispetto ad uno più lento [9]. L'AASHTO propone un abaco (figura 7) per la determinazione della zona libera da ostacoli.

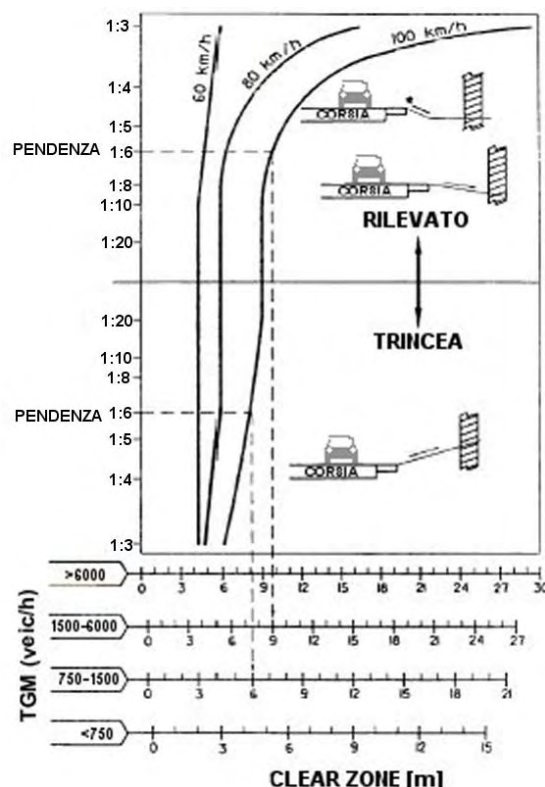


Figura 7 – Clear zone [9].

E' stato dimostrato che gli incidenti di elevata gravità sono dovuti al ribaltamento del veicolo. I fattori che influiscono sull'innescarsi di questo tipo di sinistro sono [9]:

- ✓ altezza del rilevato: per i rilevati con altezza minore a 1.5m, la probabilità che il ribaltamento del veicolo determini incidenti molto gravi è decisamente bassa;
- ✓ pendenza del rilevato: pendenze minori a 1/3 non rappresentano un pericolo diretto per i veicoli fuoriusciti dalla sede stradale;
- ✓ condizioni del terreno nel rilevato: la probabilità di ribaltamento del veicolo si incrementa se esiste la possibilità che i pneumatici possano affondare dentro il terreno o possano urtare una superficie irregolare;
- ✓ assenza di raccordo nei cambiamenti di pendenza del terreno che costituisce il rilevato: la presenza di tali raccordi permette al guidatore di mantenere o riprendere il controllo del veicolo e diminuisce la probabilità di ribaltamento,

evitando che il veicolo possa raggiungere un valore elevato di momento angolare attorno all'asse di rollio.

Nella fase di verifica di un corpo stradale preesistente è, inoltre, necessario analizzare la storia di incidentalità per fuoriuscita dalla sede stradale del rilevato preso in esame: in funzione dei volumi di traffico, due o tre incidenti simili, accaduti in un certo numero di anni, possono rilevare una certa pericolosità del sito [19]. Nelle fasi di progetto di una nuova infrastruttura, e in tutti i casi in cui i dati di incidentalità non sono disponibili, è bene valutare la potenziale frequenza di sinistri in tali zone, basandosi sulle seguenti considerazioni generali [10]:

- ✓ geometria: le curve isolate, su strade che garantiscono elevate prestazioni in termini di velocità, aumentano la probabilità di fuoriuscita dalla sede stradale. Inoltre su tracciati caratterizzati da un numero significativo di tratti curvilinei, gli incidenti per fuoriuscita si verificano con maggiore probabilità nella prima curva della serie, nelle curve successive con variazione di velocità superiore a 15 Km/h, nelle curve brusche, nelle curve con un angolo al centro molto ampio. Le fuoriuscite da curve con raggi inferiori a 300 m, in presenza di pendenze superiori al 2%, devono essere prese in speciale considerazione;
- ✓ volume di traffico: più alto è il volume di traffico, maggiore è la probabilità di fuoriuscita;
- ✓ zona libera al margine della carreggiata: più stretta è tale area, maggiore è la probabilità per il veicolo privo di controllo di cadere giù dal rilevato;
- ✓ condizioni climatiche: condizioni di nebbia densa, di neve o ghiaccio aumentano la probabilità di fuoriuscita dal bordo dei rilevati. Inoltre la presenza di forte vento può peggiorare le precedenti situazioni.

Se il rilevato presenta degli attributi di elevata pericolosità o ha una storia di incidentalità significativa, allora rappresenta un potenziale pericolo e bisogna passare ad un livello di analisi superiore; in caso contrario è definito a basso rischio e l'iter di verifica della sua pericolosità si arresta.

Il secondo livello di analisi si basa sulla stima e sulla scelta dell'intervento da effettuare. E' necessario, in un primo momento, effettuare una verifica della pericolosità del contesto stradale in cui è inserito il rilevato. I dati statistici sugli incidenti stradali hanno evidenziato il fatto che la frequenza dei sinistri tende ad aumentare in funzione della disomogeneità geometrica dei tronchi stradali: un esempio di ciò è dato da una curva di raggio ridotto susseguente ad un lungo tratto di strada in rettilineo. Se il tracciato stradale presenta ulteriori fattori di rischio sono necessari altri studi e/o indagini.

Nel caso in cui tali situazioni non siano riscontrate, si passa alla procedura di analisi del rischio precedentemente descritta al paragrafo precedente. Al termine di tale analisi ci si trova di fronte a due situazioni che si escludono vicendevolmente:

- il rilevato è più pericoloso della barriera;
- i dispositivi di ritenuta sono più pericolosi del rilevato.

Se il rilevato risulta essere più pericoloso della barriera di sicurezza stradale, è necessario effettuare una procedura di analisi costi – benefici. Il metodo dell'analisi benefici – costi è diffusamente accettato come la procedura più adatta per valutare le alternative dei progetti di miglioramento della sicurezza [15]. I benefici sono misurati in termini di riduzione del costo degli incidenti associato con il miglioramento della sicurezza; i costi includono quelli iniziali per la realizzazione degli interventi e quelli per la manutenzione ordinaria e la riparazione in seguito agli incidenti. Con l'analisi

benefici – costi si confronta un intervento per la sicurezza con le condizioni esistenti (alternativa di progetto nullo), oppure si possono confrontare tra loro più alternative d'intervento. Nel caso specifico, il punto in cui la riduzione di pendenza delle scarpate si dimostra un investimento conveniente si ottiene confrontando i benefici tratti da questa operazione con quelli derivanti dall'installazione della barriera di sicurezza più idonee.

Se è, invece, l'installazione del sistema di ritenuta a creare danni maggiori ma il rilevato non presenta una storia incidentale significativa (caso di verifica) o presenta un basso potenziale in termini di pericolosità (caso di progetto), non è opportuno effettuare nessun tipo di intervento. Nel caso in cui sono verificate entrambe le condizioni, bisogna intervenire con un adeguamento della pendenza del rilevato stesso. A tal proposito si ribadisce che utilizzando pendenze minori a 1/3, si ha una riduzione significativa della gravità degli incidenti per fuoriuscita dalla sede stradale, che è principalmente dovuta alla diminuzione della probabilità di ribaltamento.

6. CONCLUSIONI

Lo studio svolto dal presente gruppo di ricerca conduce ad un importante risultato che ribadisce quanto già affermato da altri ricercatori: le barriere di sicurezza non sono un semplice elemento dell'arredo stradale, ma costituiscono un'attrezzatura la cui installazione deve essere subordinata a razionali criteri di scelta da parte dei progettisti.

L'analisi del rischio applicata alla percorribilità dei tratti stradali in rilevato ha permesso di evidenziare come, in funzione della combinazione di tre parametri di riferimento (altezza del rilevato, pendenza delle scarpate, entità dei flussi di traffico), varino i rapporti di forza, in termini di pericolosità. In particolare modo si è avuto modo di discernere, tra le possibili condizioni di rischio, quelle relative alle situazioni in cui è necessario installare i dispositivi di ritenuta sui margini della strada in rilevato, e quelle associate ai contesti stradali in cui la presenza delle barriere di sicurezza può addirittura risultare pernicioso.

La possibilità di prevedere la “non installazione” delle barriere di ritenuta deve essere poi considerata anche nel contesto di una ulteriore metodologia da applicare parallelamente all'analisi del rischio; si tratta dell'analisi costi – benefici che consente la comparazione tra diverse alternative di progetto (contemplando anche la soluzione di non intervento) mettendo in conto anche i benefici connessi alla sicurezza degli utenti delle infrastrutture stradali.

Si ritiene infine che la procedura di analisi del rischio proposta nella presente memoria possa contribuire a colmare quelle lacune presenti nell'attuale normativa soprattutto allorquando viene lasciata al progettista la libertà di decidere le modalità di intervento nei casi di rilevati con pendenza inferiore a 2/3, senza fornire un criterio razionale per valutare le condizioni di pericolosità connesse alle possibili combinazioni di pendenza e di altezza delle scarpate.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Circolare LL.PP. n°2337 11/07/1987*: “Legge 21 aprile 1962, n.181, art.1, lettera f) (1). **Provvedimenti per la sicurezza stradale. Barriere stradali. Specifica per l'impiego delle barriere in acciaio**”.
- [2] *Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici n°223 18/02/1992*: “**Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza**”.

- [3] *Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici n°4621 15/10/1996: “Aggiornamento del decreto ministeriale 18 febbraio 1992, n°223, recante istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”.*
- [4] *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n°4622 – 15/10/1996: “Istituti autorizzati all’esecuzione di prove d’impatto in scala reale su barriere stradali di sicurezza”.*
- [5] *Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 03/06/1998: “Ulteriore aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza e delle prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell’omologazione”.*
- [6] *Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11/06/1999: Integrazioni e modificazioni al decreto ministeriale 3 giugno 1998, recante: “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”.*
- [7] *Decreto Ministeriale 6 Aprile 1998. Attuazione della direttiva 96/53/CE del Consiglio del 25 luglio 1996 che stabilisce per taluni veicoli stradali che circolano nella Comunità, le dimensioni massime autorizzate nel traffico nazionale ed internazionale ed i pesi massimi autorizzati nel traffico internazionale*
- [8] **Dati ISTAT 1999**
- [9] *Safety Barriers and Roadside Furniture – Road Planning and Design Manual – Main Roads Department - Giugno 2000*
- [10] *A.A.V.V. Traffic Safety System – State of California – Business, Transportation and Housing – Department of Transportation – Maggio, 1998*
- [11] *S. Canale, S. Leonardi, C. Fabiano. Il concetto di rischio e gli ambiti applicativi dell’analisi del rischio – Quaderno n°100 – Università degli Studi di Catania – Facoltà di Ingegneria – Istituto di Strade, Ferrovie, Aeroporti – Giugno 1998*
- [12] *B. Crisman, S. Fonzari, R. Roberti. Studio sperimentale sul comportamento degli utenti in corrispondenza dell’imbocco dei tunnel stradali. Convegno SIIV “La Sicurezza Stradale” – Pisa, 29/30 Ottobre 1997*
- [13] *S. Leonardi, G. Pappalardo. Analisi critica delle caratteristiche prestazionali delle barriere di sicurezza – Quaderno n°110 – Università degli Studi di Catania – Facoltà di Ingegneria – Istituto di Strade, Ferrovie, Aeroporti – Luglio 2000*
- [14] *A. Montella. L’analisi dei potenziali pericoli e le possibili aree di ricerca per l’adeguamento dei margini stradali – Convegno “Adeguamento Funzionale e Manutenzione delle Infrastrutture Viarie” – Milano, 19/20 Ottobre 1998*
- [15] *A. Montella. La scelta del livello di prestazione delle barriere di sicurezza stradali – Strade & Autostrade – Sett./Ott. 2000*
- [16] *A. Ranzo. Applicazioni d’ingegneria virtuale nel progetto dei dispositivi stradale di ritenuta – Workshop “La Ricerca e Sviluppo per una migliore Sicurezza Stradale” – CSM – Roma, 22 giugno 2001*
- [17] *J.G. Viner. Rollovers on slideslopes and ditches – Accident Analysis & Prevention – Vol.27, No.4, 1995*
- [18] http://www.mrwa.wa.gov.au/standards/guidelines_road_&_traffic_engineering
- [19] http://www.trans.ci.portland.or.us/Engineering_And_Development