

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI

ISPETTORATO GENERALE PER LA CIRCOLAZIONE E LA
SICUREZZA STRADALE

DEFINIZIONE DEI PRINCIPALI TEMI DI RICERCA PER IL
MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA DELLE
INFRASTRUTTURE NEL BREVE, MEDIO E LUNGO
PERIODO

SCHEDA 6

**LINEE GUIDA PER L'INSTALLAZIONE DELLE
BARRIERE DI SICUREZZA**

Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti

Università degli Studi di Messina - Dipartimento di Costruzioni e Tecnologie Avanzate

Napoli, 9 ottobre 2000

INDICE

1 MOTIVAZIONI E RISULTATI DELLA RICERCA	3
1.1 Motivazioni del tema di ricerca	3
1.2 Stato dell'arte relativo alla tematica da trattare.....	5
1.2.1 Studi internazionali	6
1.2.2 Studi nazionali.....	14
1.3 Ricerca da attuare.....	17
1.4 Risultati attesi.....	18
2 CONTENUTI E MODALITÀ DI REALIZZAZIONE	19
2.1 Oggetto della ricerca.....	19
2.2 Modalità di esecuzione e articolazione per fasi.....	21
2.3 Tempi, Risorse e Costi.....	24
2.4 Modalità di archiviazione dei dati e dei risultati conseguiti	25
3 QUALIFICAZIONE E MODALITÀ DI AGGIUDICAZIONE	26
3.1 Competenze necessarie.....	26
3.2 Criteri di aggiudicazione e di collaudo	26
4 BIBLIOGRAFIA	27

1 MOTIVAZIONI E RISULTATI DELLA RICERCA

1.1 MOTIVAZIONI DEL TEMA DI RICERCA

La fuoriuscita dalla carreggiata rappresenta una delle tipologie d'incidente con il più elevato rapporto tra il numero di morti e di incidenti (nel 1998 5.2 morti ogni 100 incidenti, rispetto a 2.9 morti ogni 100 incidenti se ci si riferisce a tutti i tipi di incidente) e causa circa il 20% dei morti dovuti agli incidenti stradali (circa il 24% dei morti che avvengono in ambito extraurbano).

Tab. 1 Indice di mortalità di diverse tipologie d'incidente [dati ISTAT, 1998]

Tipo di incidente	I	F	M	% I	% F	% M	M/I
Urto con treno	18	18	2	0.01%	0.01%	0.03%	11.11%
Scontro frontale	15'611	26'583	957	7.63%	9.05%	16.34%	6.13%
Urto con ostacolo accidentale	9'109	11'704	517	4.45%	3.98%	8.83%	5.68%
Fuoriuscita	20'650	26'705	1'065	10.09%	9.09%	18.18%	5.16%
Investimento di pedone	15'507	17'568	777	7.58%	5.98%	13.27%	5.01%
Caduta da veicolo	1'809	1'929	47	0.88%	0.66%	0.80%	2.60%
Urto con veicolo in fermata o arresto	8'306	11'905	203	4.06%	4.05%	3.47%	2.44%
Frenata improvvisa	576	776	14	0.28%	0.26%	0.24%	2.43%
Urto con veicolo in sosta	1'469	1'775	29	0.72%	0.60%	0.50%	1.97%
Scontro frontale-laterale	74'966	110'578	1'412	36.64%	37.63%	24.11%	1.88%
Tamponamento	36'284	58'110	539	17.73%	19.78%	9.20%	1.49%
Scontro-laterale	20'310	26'191	295	9.93%	8.91%	5.04%	1.45%
TOTALE	204'615	293'842	5'857				2.86%

Il miglioramento della sicurezza dei margini stradali prevede differenti tipologie di intervento:

- Rimozione degli ostacoli,

- Spostamento degli ostacoli in punti nei quali è minore la probabilità che siano colpiti,
- Riduzione della pericolosità degli ostacoli che non è conveniente o possibile spostare (p.e. realizzazione di pali per illuminazione di tipo cedevole),
- Protezione degli ostacoli 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 e spesso l'unico intervento possibile è proteggere gli ostacoli con dispositivi di ritenuta.

In Italia l'installazione delle barriere di sicurezza ha subito subito sostanziali innovazioni negli ultimi anni per effetto dell'emanazione di numerosi decreti ministeriali, D.M. n°223/92 e successive modificazioni (22-24), e delle normative comunitarie EN 1317 (48, 49, 7-6). Il D.M. n°223 è fortemente innovativo in quanto classifica le barriere di sicurezza in relazione all'esecuzione di prove d'urto in scala reale e prescrive che per i nuovi progetti e per l'adeguamento di tratti significativi di strade esistenti si impieghino barriere di sicurezza omologate e che i progetti esecutivi delle strade comprendano un apposito allegato progettuale riguardante le barriere di sicurezza. Inoltre lo stesso decreto individua le zone da proteggere e definisce i criteri di scelta delle barriere di sicurezza prescrivendo, in funzione del tipo di strada, del tipo di traffico e della destinazione, le classi minime di barriere da impiegare.

Le disposizioni normative hanno sostanzialmente contribuito ad un notevole progresso tecnologico che ha consentito la realizzazione di barriere di sicurezza bivalenti, dotate cioè di elevata capacità di contenimento ed al tempo stesso in grado di offrire buon grado di protezione agli occupanti delle autovetture, anche se i terminali e le transizioni delle barriere, gli attenuatori d'urto e le protezioni mobili per varchi spartitraffico sono ancora in fase di sperimentazione. Il più elevato progresso tecnologico nel settore è senz'altro negli Stati Uniti, dove già da alcuni anni sono realizzati attenuatori d'urto e terminali sottoposti con successo a prove d'urto in scala reale in accordo con le normative NCHRP (45).

D'altra parte le norme sono molto generiche per quanto riguarda l'individuazione delle zone da proteggere e la scelta delle classi di barriera da impiegare è una procedura complessa che dipende da numerosi fattori specifici relativi al sito, alla strada ed al traffico che interessano l'intervento e che non sono presi in considerazione nei criteri normativi.

In mancanza di guide tecniche per la loro applicazione e di una consolidata cultura tecnica nel settore, le disposizioni normative non sono da sole sufficienti a indirizzare i tecnici nella redazione del progetto della sicurezza di cui all'art. 2 del D.M. n°223/92 e a risolvere tutti i problemi legati alla sicurezza dei margini stradali, come ad esempio l'individuazione delle zone da proteggere, delle classi di barriera ottimali e delle modalità di installazione delle barriere di sicurezza.

La necessità di migliorare le conoscenze tecniche relative ai criteri di scelta delle barriere, basati ad esempio su analisi benefici/costi, e ai criteri di installazione delle stesse è accentuata dai notevoli investimenti economici previsti nei prossimi anni per l'adeguamento dei dispositivi di ritenuta alle nuove normative. Stimando un costo approssimativo delle barriere di sicurezza di circa 300 milioni di lire per chilometro, e circa 30'000 chilometri di strade che potrebbero essere adeguate nei prossimi 10 anni, è ipotizzabile, nel prossimo decennio, un investimento nel settore di poco inferiore a 10'000 miliardi di lire.

Occorrono pertanto degli studi di dettaglio finalizzati ad un approfondimento della tematica relativa alla sicurezza dei margini stradali ed all'elaborazione di linee guida per l'installazione delle barriere e la messa in sicurezza del margine stradale.

L'elaborazione di linee guida per la progettazione dei margini stradali richiede ricerche approfondite relative a numerosi aspetti, quali ad esempio il comportamento in esercizio dei dispositivi di ritenuta, il comportamento dei dispositivi in relazione alle condizioni di installazione, il comportamento dei dispositivi di ritenuta in relazione alle condizioni d'impatto, le distribuzioni di fuoriuscita dei veicoli in relazione alla strada e al traffico, le distribuzioni dell'estensione laterale e longitudinale delle fuoriuscite, le conseguenze delle fuoriuscite in relazione al tipo di ostacolo e di strada.

1.2 STATO DELL'ARTE RELATIVO ALLA TEMATICA DA TRATTARE

La sicurezza dei margini stradali è studiata con attenzione da oltre venti anni negli Stati Uniti, dove a causa della fuoriuscita si verifica circa 1/3 delle morti per incidenti stradali, mentre in Europa, e in Italia, è stata affrontata con rigore scientifico solo negli ultimi anni.

I settori di ricerca principali riguardano sia gli aspetti tecnologici relativi alla progettazione e costruzione dei dispositivi che gli aspetti relativi alle politiche per il

miglioramento della sicurezza dei margini.

1.2.1 Studi internazionali

1.2.1.1 Analisi numeriche per lo studio dei dispositivi di ritenuta

Lo studio dei dispositivi di ritenuta è stato sino ad oggi condotto sia mediante approccio sperimentale, che mediante approccio numerico. L'approccio numerico consente sia la progettazione preliminare che lo studio integrativo, ai fini di un miglioramento funzionale e/o economico, di barriere già sottoposte a prove d'urto e garantisce un buon grado di affidabilità dei risultati a fronte di costi relativamente contenuti (42,45).

I primi modelli analitici per lo studio della collisione tra veicoli e barriere sono stati sviluppati negli anni '60 al laboratorio aeronautico Cornell, negli Stati Uniti, e hanno consentito il miglioramento di alcuni tipi di barriere metalliche utilizzate nello stato di New York. E' stato poi sviluppato un programma, HVOSM, per lo studio della risposta dei veicoli che urtano contro le barriere rigide. Negli anni '70 è stato sviluppato il codice di calcolo Barrier VII, molto limitato in quanto esegue solo analisi bidimensionali. Negli anni '80 è stata svolta un'intensa attività di ricerca per lo sviluppo di nuovi codici di calcolo agli elementi finiti. I risultati di questi sforzi sono stati i codici GUARD, CRUNCH e NARD. Tuttavia, nessuno di questi codici si è dimostrato sufficientemente affidabile. Nel 1991 la Federal Highway Administration ha sponsorizzato tre progetti per migliorare le capacità delle analisi numeriche. In seguito a questi progetti la comunità scientifica si è orientata verso l'utilizzo dei programmi DYNA 3D, o il più recente LSDYNA 3D (44), che consentono analisi dinamiche tridimensionali in campo non lineare in grado di tenere conto del comportamento visco-elasto-plastico dei materiali.

Le simulazioni hanno significativamente contribuito allo sviluppo di nuove tipologie di barriere di sicurezza e, soprattutto, di terminali e attenuatori d'urto consentendo di stimare sia il comportamento strutturale che gli effetti dell'urto sugli occupanti delle autovetture.

Negli ultimi anni è stato raggiunto un notevole progresso nell'integrazione delle analisi numeriche nel processo di progettazione dei dispositivi di ritenuta, tuttavia occorre intensa attività di ricerca affinché i metodi analitici raggiungano il loro pieno potenziale.

1.2.1.2 Analisi benefici/costi

Il metodo delle analisi benefici-costi incrementali è stato diffusamente accettato come il metodo più adatto per valutare le alternative dei progetti di miglioramento della sicurezza. I benefici sono misurati in termini di riduzione del costo degli incidenti associato con il miglioramento di sicurezza mentre il costo è definito come l'aumento di spese dell'Ente gestore della strada associato col miglioramento.

Negli Stati Uniti sono state sviluppate differenti procedure di analisi benefici/costi per il miglioramento della sicurezza dei margini. Molte di queste procedure sono relative solo a specifici oggetti, come i pali per la luce, e il loro uso non può essere generalizzato. Altre procedure sono obsolete o si basano su dati sorpassati. Inoltre, alcune delle procedure non sono automatizzate e richiedono lunghi tempi di calcolo. Anche le più recenti procedure non possono poi essere utilizzate efficacemente nell'EU in quanto non tengono conto della possibilità di scelta tra i differenti livelli di prestazione previsti dalle norme europee.

Le procedure di analisi benefici/costi possono essere distinte in due categorie: procedure basate sulla probabilità di fuoriuscita e procedure basate sui dati d'incidentalità.

Le procedure basate sui dati d'incidentalità usano dati d'incidenti per sviluppare modelli di regressione multipla che correlano la frequenza degli incidenti alle caratteristiche della strada e del traffico (47,51). Tuttavia l'elevato numero di variabili che può influenzare la frequenza degli incidenti per fuoriuscita rende questo approccio molto complesso. Anche il migliore modello di regressione multipla non riesce a spiegare più del 60% delle correlazioni ($R^2=0.6$) (15).

Le procedure basate sulla probabilità di fuoriuscita assumono che la frequenza degli incidenti è direttamente correlata alla frequenza delle fuoriuscite, che è più facile prevedere perché dipende da meno fattori. Questo approccio da un lato consente di ottenere stime più affidabili e dall'altro è più versatile, poiché consente di prevedere la frequenza degli incidenti per una grande quantità di ostacoli laterali e può essere impiegato per prevedere gli incidenti sia nel caso di interventi di adeguamento che nel caso di nuove costruzioni.

I principali studi sui dati di fuoriuscita, su cui sono basate le procedure sino ad oggi elaborate, sono 3: Hutchinson e Kennedy (12), Cooper (9), e Chalcote (8).

Lo studio di Hutchinson e Kennedy è consistito nell'osservazione delle tracce di pneumatici sul margine interno di strade extraurbane (Interstate Highways) nell'Illinois nella metà degli anni '60. I risultati dello studio sono stati utilizzati nelle prime analisi benefici/costi eseguite negli Stati Uniti. I risultati dello studio, tuttavia,

hanno notevoli limitazioni.

Cooper ha condotto uno studio simile in Canada alla fine degli anni '70 (9). La ricerca ha comportato osservazioni settimanali delle tracce di pneumatici sul terreno di ricoprimento dei margini di strade extraurbane di varie classi funzionali. Complessivamente, si ritiene che i dati di Cooper siano più affidabili di quelli di Hutchinson e Kennedy perché più recenti e basati su un maggior numero di osservazioni.

Chalcote (8) ha tentato di superare le limitazioni degli studi precedenti, usando monitoraggio del traffico nelle strade extraurbane e video registrazioni lungo strade urbane. Tuttavia il sistema di monitoraggio non ha funzionato per motivi tecnici e i sistemi video non sono stati in grado di distinguere tra le fuoriuscite controllate e quelle non controllate.

Le distribuzioni di fuoriuscita ricavate con gli studi descritti in precedenza derivano da principalmente da sezioni in rettilineo, in piano e con larghezze delle corsie pari a circa 3.60 m. I risultati di numerosi studi basati su analisi d'incidentalità mostrano che la curvatura orizzontale, la pendenza longitudinale, e la larghezza delle corsie sono fattori estremamente influenti sui tassi di incidentalità. È ragionevole assumere che gli stessi fattori siano influenti anche sul numero di fuoriuscite.

La fonte di informazioni più utilizzata per la correzione dei tassi di fuoriuscita in funzione della curvatura orizzontale e della pendenza longitudinale è lo studio di Wright e Robertson (50). Questo studio ha analizzato 300 incidenti mortali a veicolo isolato contro ostacoli fissi allo scopo di identificare le caratteristiche della strada e dei margini che potrebbero aver contribuito agli incidenti. I risultati dello studio sono stati ampiamente utilizzati nei modelli per le analisi benefici/costi, anche se sono soggetti ad alcune limitazioni.

Gli effetti della curvatura orizzontale e della pendenza longitudinale sono stati studiati anche da Perchonok (37) come parte di un più esteso studio di incidenti per fuoriuscita a veicolo isolato. Il campione di incidenti è costituito da 7'972 incidenti in 6 stati USA. Anche se gli autori dello studio non sono riusciti a quantificare l'effetto di curvatura e pendenza, i loro risultati tendono a confermare quelli dello studio di Wright e Robertson.

Mak ha eseguito un'analisi delle condizioni d'impatto in incidenti reali utilizzando la ricostruzione di incidenti nella metà degli anni '80 (16). I dati d'incidentalità sono stati utilizzati per definire delle distribuzioni di velocità e angoli d'impatto per cinque differenti classi funzionali di strade.

I modelli di analisi benefici/costi basati sulla probabilità di fuoriuscita sono i seguenti:

NCHRP Report 77

Il primo modello basato sulla probabilità di fuoriuscita è stato sviluppato da McFarland e Ross ed è stato presentato nel Report NCHRP 77 (19). Questo modello è stato elaborato per analizzare impatti con i pali della luce e utilizza i dati sulle fuoriuscite dello studio di Hutchinson e Kennedy (12), che era la sola fonte di informazioni disponibile a quell'epoca. Lo scopo del modello era quello di fornire una stima del numero medio di incidenti senza tenere conto delle condizioni specifiche del sito. I risultati del modello si sono mostrati poco affidabili per prevedere il numero di incidenti nei singoli siti.

NCHRP Report 148

Il Report NCHRP 148 (11) rappresenta un'estensione del Report 77 che consente di tenere conto di qualsiasi tipo di oggetto. Tuttavia, tutte le altre limitazioni del modello precedente non sono state superate.

1977 AASHTO Guide for Selecting, Locating, and Designing Traffic Barriers

La prima procedura di analisi benefici/costi usata diffusamente è riportata nel manuale "1977 AASHTO Guide for Selecting, Locating, and Designing Traffic Barriers" (2). Scopo della procedura è determinare se è conveniente installare un particolare tipo di barriera, basandosi su di un modello simile a quello già esistente dell'NCHRP. La procedura utilizza una tecnica di soluzione grafica allo scopo di evitare calcoli laboriosi. Tuttavia, la complessità della soluzione grafica ha limitato l'utilizzo della procedura finché non è stata sviluppata una versione automatizzata.

Il modello AASHTO introduce per la prima volta il concetto di Indice di Severità SI, che rappresenta una scala ordinata da 1 a 10 correlata con la probabilità di ciascun livello di danno conseguente all'incidente. Il costo di un incidente caratterizzato da un determinato indice SI può essere poi ottenuto moltiplicando il costo associato a ciascun livello di danno con la probabilità che si verifichi quel livello di danno e sommando i costi di ciascun livello di danno.

La Guida include una lista di indici di severità per diversi oggetti ottenuta in seguito ad analisi d'incidentalità da parte di esperti di sicurezza e forze dell'ordine. A causa delle modalità di analisi i dati prendono in considerazione solo incidenti con

alte velocità d'impatto e quindi gli indici di severità risultano sovrastimati. Soprattutto risulta sovrastimata l'efficacia delle barriere di sicurezza e degli attenuatori d'urto in quanto non si tiene conto della possibilità di non contenimento dei veicoli.

Il modello TTI ABC

Il programma ABC (15) è stato sviluppato nella metà degli anni '80 dal Texas Transportation Institute (TTI), Texas A&M University, e rappresenta un significativo miglioramento rispetto ai modelli preesistenti. Tuttavia, la complessità del programma ne ha notevolmente limitato la diffusione.

Il programma ABC si basa sui dati di fuoriuscita dello studio di Cooper (9), anziché sui dati di Hutchinson e Kennedy (12) utilizzati nei precedenti programmi.

Una caratteristica importante del programma TTI ABC è l'introduzione di un modello di analisi delle immagini che studia simultaneamente più ostacoli tenendo conto della possibilità che un veicolo oltrepassi una barriera e urti con l'ostacolo da essa protetto. L'assunzione è che se il veicolo oltrepassa una barriera o un oggetto cedevole continua nella sua traiettoria rettilinea di fuoriuscita. Anche questa ipotesi semplificativa deriva dalla mancanza di dati sperimentali disponibili.

Aspetto di primaria importanza è che in relazione al tipo di veicolo, alla velocità e all'angolo d'impatto viene valutata la distribuzione degli esiti degli incidenti. Le condizioni d'impatto sono confrontate con le prestazioni degli oggetti colpiti. Nel caso delle barriere di sicurezza i limiti prestazionali sono definiti in termini di ridirezione e penetrazione. La capacità di contenimento delle barriere di sicurezza è definita in termini di Severità dell'Impatto IS, che rappresenta l'energia cinetica trasversale del veicolo impattante, calcolata con riferimento alla componente della velocità ortogonale alla barriera (equivalente al Livello di Contenimento Lc definito dalle norme italiane sulle barriere).

Quando il valore di IS, per una data combinazione di condizioni d'impatto che è stimata utilizzando le distribuzioni sperimentali di Mak, è al di sotto del limite di prestazione della barriera si assume che il veicolo impattante è correttamente ridiretto. Quando il valore di IS è al di sopra del limite di prestazione della barriera si assume che il veicolo impattante penetra la barriera e si assegna una severità associata alla penetrazione.

Pur essendo valido dal punto di vista tecnico, il programma TTI ABC ha avuto limitata diffusione a causa della notevole complessità di utilizzo e della mancanza di documentazione di supporto.

Benefit-Cost Analysis Program (BCAP)

Il programma BCAP (10) è stato realizzato dalla Federal Highway Administration (FHWA) modificando il modello TTI ABC mediante l'aggiunta di procedure integrative per la previsione degli incidenti e la stima della severità. Tuttavia, alcune delle procedure integrative risultano basate soprattutto sul giudizio ingegneristico e l'affidabilità dei risultati delle analisi è, nel suo complesso, inferiore a quella del programma TTI ABC.

ROADSIDE

Allo scopo di aumentare la diffusione delle procedure di analisi benefici/costi la Federal Highway Administration ha sviluppato una versione semplificata del programma BCAP, nota come ROADSIDE, i cui principi di funzionamento sono riportati nell'Appendice A del manuale AASHTO Roadside Design Guide (1). Questo programma utilizza essenzialmente le stesse procedure del programma BCAP, ma con alcune differenze fortemente limitative. Il programma non può considerare l'effetto di un ostacolo, come una barriera di sicurezza, che protegge un altro ostacolo. La maggiore limitazione è che il programma assume che il veicolo non può penetrare oltre una barriera di sicurezza, per cui si assume che tutte le barriere di sicurezza sono efficaci al 100%.

RSAP Roadside Safety Analysis Program

Allo scopo di migliorare le procedure di analisi benefici/costi la National Cooperative Highway Research Program ha intrapreso il progetto di ricerca NCHRP 22-9 "Improved Procedures for Cost-Effectiveness Analysis of Roadside Safety Features", il cui risultato è stato la realizzazione del programma RSAP (14, 17, 18, 46).

Il programma RSAP presenta notevoli miglioramenti rispetto al programma ROADSIDE ed è anche caratterizzato da un'interfaccia utente molto semplice che dovrebbe agevolarne la diffusione.

ROADSIDE utilizza un tasso di fuoriuscita costante e pari a 0.0003 fuoriuscite/(km•anno•TGM). L'estensione laterale della fuoriuscita si calcola assumendo che il veicolo fuoriesce, con velocità pari alla velocità di progetto della strada, secondo una traiettoria rettilinea con una decelerazione costante pari a 0.4 g e assumendo una distribuzione di probabilità della distanza di fuoriuscita di tipo sinusoidale. RSAP utilizza i dati di fuoriuscita di Cooper, che si ritiene siano i migliori dati attualmente disponibili. I dati di Cooper sono stati revisionati per

tenere conto delle fuoriuscite con estensione laterale inferiore a 4 m che potrebbero non essere state rilevate a causa della presenza di banchine pavimentate.

ROADSIDE utilizza una distribuzione ipotetica per la velocità di fuoriuscita basata sulla velocità di progetto della strada e un angolo medio di fuoriuscita basato sul modello di punto massa. RSAP utilizza velocità ed angoli d'impatto derivanti dai dati d'incidentalità di Mak. Il percorso di fuoriuscita è considerato rettilineo e senza frenata, per cui velocità ed angolo di fuoriuscita coincidono con velocità ed angolo d'impatto.

ROADSIDE può studiare solo un ostacolo alla volta, per cui non tiene conto della protezione di un ostacolo da parte di un altro (p.e. una barriera di sicurezza). RSAP tiene conto della presenza di ostacoli multipli e della possibilità che un ostacolo possa arrestare il veicolo o possa essere attraversato. In tal modo si tiene conto della possibilità che un ostacolo protetto con una barriera di sicurezza possa essere colpito da un veicolo.

Il programma consente di tenere conto di numerose caratteristiche della strada, del traffico e dei fattori di pericolo. La sua limitazione è nella procedura utilizzata per tenere conto dei differenti livelli di prestazione delle barriere di sicurezza. Il programma consente di tenere conto di differenti tipologie di barriere di sicurezza (barriere in calcestruzzo, barriere metalliche a doppia onda, barriere metalliche a tripla onda, barriere per bordo ponte, ecc.), ma non consente di tenere conto dell'effettivo livello di prestazione delle barriere. Ad esempio due barriere metalliche con nastro a tripla onda con differente interasse dei paletti danno luogo agli stessi risultati. Ciò non consente di confrontare l'effetto di barriere con differenti livelli di prestazione determinati con le prove d'impatto in scala reale.

1.2.1.3 Programmi di ricerca

Nell'ambito del National Cooperative Highway Research Program Project 22-13 è in corso di svolgimento una ricerca sul comportamento in esercizio delle barriere di sicurezza (43).

La valutazione del comportamento in esercizio consiste nell'osservazione dei risultati delle collisioni con i dispositivi di ritenuta negli incidenti reali. Tali valutazioni comprendono dati della polizia, informazioni relative alla manutenzione e una visita al sito subito dopo che l'incidente ha avuto luogo.

Il progetto di ricerca è ancora in corso e consente di raccogliere dati non disponibili in seguito alle normali analisi di incidentalità.

Uno dei risultati di maggiore utilità della ricerca svolta negli ultimi anni nel settore della sicurezza dei margini è costituito dalla pubblicazione del manuale Roadside Design Guide dell'American Association of State Highway and Transportation Officials (1), che rappresenta una sintesi delle pratiche operative correlate con la sicurezza dei margini e fornisce una guida per le analisi benefici/costi e per l'installazione delle barriere di sicurezza.

La ricerca nel settore è in continuo sviluppo, soprattutto grazie all'attivo impulso dei programmi di ricerca del National Cooperative Highway Research Program (3, 21, 36).

Il progetto di ricerca NCHRP 17-13 "Strategic Plan for Improving Roadside Safety" ha definito un piano di ricerca di lungo termine mediante il quale sono stati individuati gli aspetti strategici e operativi delle future ricerche.

Il programma è strutturato nel seguente modo:

- **Missioni**, aree funzionali che richiedono attenzione;
 - **Goal**, specifici risultati attesi da ogni missione;
 - **Obiettivi**, aspetti di un goal che possono essere misurati;
 - ◆ **Azioni**, attività dirette che possono essere intraprese per raggiungere un obiettivo;
 - **Necessità**, informazioni e base di conoscenza necessarie per intraprendere un'attività.

Gli aspetti principali del programma sono i seguenti:

Missione 1: Incrementare la consapevolezza del problema sicurezza dei margini.

Missione 2: Costruire e mantenere una banca dati per monitorare e migliorare la sicurezza dei margini.

Missione 3: Evitare che i veicoli fuoriescano dalla piattaforma stradale.

Missione 4: Evitare che i veicoli che fuoriescono si ribaltino o urtino contro ostacoli pericolosi.

Missione 5: Ridurre i feriti e i morti in seguito ai ribaltamenti e agli urti contro gli ostacoli.

Al fine del raggiungimento degli obiettivi del programma sono attivi i seguenti programmi di ricerca finanziati dalla Federal Highway Administration:

NCHRP 17-13	Strategic Plan for Improving Roadside Safety
NCHRP 17-14	Identification of Vehicular Impact Conditions Associated with Serious Ran-Off-Road Accidents
NCHRP 17-15	Crashworthy Work-Zone Traffic Control Devices
NCHRP 22-11	Evaluation of Roadside Features to Accommodate Vans, Mini-Vans, Pickup Trucks, & 4-Wheel Drive Vehicles
NCHRP 22-12	Guidelines for the Selection, Installation, and Maintenance of Highway-Safety Features
NCHRP 22-13	Performance of Roadside Barriers
NCHRP 22-13(2)	Expansion and Analysis of In-Service Barrier, Performance Data and Planning for Establishment of a Database
NCHRP 22-14	Improvement of the Procedures for the Safety-Performance Evaluation of Roadside Features
NCHRP 22-15	Improving the Compatibility of Vehicles and Roadside Safety Hardware
NCHRP 22-16	Development of an Improved Roadside Barrier System
NCHRP 22-17	Recommended Guidelines for Curbs and Curb-Barriers Combinations

1.2.2 Studi nazionali

In Italia, la ricerca nel settore della sicurezza dei margini è stata particolarmente attiva dopo l'emanazione del D.M. n°223/92. L'attività di ricerca è stata rivolta soprattutto alla progettazione di barriere di sicurezza (sono ancora in fase embrionale gli studi su attenuatori d'urto, terminali e transizioni) che soddisfino i requisiti delle nuove normative, verificati mediante l'esecuzione di oltre 150 prove d'urto eseguite presso il Centro Prove per barriere stradali di sicurezza di Anagni e numerose prove eseguite presso il centro LIER di Lione (Francia) ed il Centro TUV di Monaco (Germania).

1.2.2.1 Modelli agli elementi finiti delle collisioni con le barriere

Sono stati elaborati alcuni modelli per la simulazione della collisione con le barriere di sicurezza presso le Università di Roma, Milano e Napoli (38-41, 28-31). Le Unità di ricerca hanno utilizzato differenti codici di calcolo, LS-DYNA3D a Roma, Vedyac a Milano e Aqabus a Napoli, che hanno consentito di tenere conto dei principali aspetti delle collisioni (fenomeno dinamico, comportamento visco-elasto-plastico dei materiali, contatto strisciante tra i corpi) e sono stati tarati attraverso la simulazione di prove d'urto in scala reale.

Il confronto tra i risultati delle analisi numeriche e delle prove d'urto in scala reale ha mostrato che le simulazioni sono in grado di riprodurre gli aspetti generali delle collisioni e di stimare i principali parametri che caratterizzano l'esito degli urti, come lo spostamento massimo della barriera e il rollio massimo del veicolo, con un'approssimazione inferiore al 20%.

Mediante le analisi numeriche è stata anche indagata l'influenza sull'esito delle collisioni di alcuni parametri significativi, come l'altezza (40) e la posizione longitudinale del centro di massa (31), l'attrito pneumatici pavimentazione (31), la massa e l'angolo d'impatto del veicolo collidente (29) e la curvatura orizzontale della barriera (30). Gli studi citati hanno individuato delle relazioni analitiche che consentono di stimare gli esiti delle collisioni con condizioni d'impatto differenti da quelle che caratterizzano le prove di omologazione.

1.2.2.2 Analisi benefici/costi

In Europa non sono ancora state elaborate procedure per il miglioramento della sicurezza basate sull'analisi benefici/costi. Negli Stati Uniti sono state definite numerose procedure per l'adeguamento dei margini basate sull'analisi benefici/costi, esse tuttavia non consentono ancora di tenere conto dei differenti livelli di prestazione delle barriere di sicurezza. In Italia, è stata realizzata una nuova procedura, basata sul criterio dell'analisi benefici/costi, per scegliere gli interventi di adeguamento dei margini e il livello di prestazione delle barriere di sicurezza (32-35).

Il modello consente di stimare il numero delle fuoriuscite dalla carreggiata, il numero degli incidenti contro ciascun tipo di ostacolo, la severità e il costo degli incidenti, in funzione di: condizioni della strada (tipo di strada, numero di corsie, larghezza delle corsie, raggio delle curve orizzontali, sviluppo delle clotoidi), condizioni del traffico (TGM, incremento annuo del traffico, percentuale di veicoli pesanti, distribuzione del traffico nei due sensi di marcia, distribuzione del traffico nelle corsie, composizione del traffico dei veicoli pesanti, suddivisi in 5 tipologie, composizione del traffico dei veicoli leggeri, suddivisi in 2 tipologie, massa dei

veicoli leggeri, massa ed altezza del centro di massa dei veicoli pesanti, incidentalità), posizione, distanza dai margini e caratteristiche dei fattori di pericolo (rilevato, trincea, opera d'arte, albero, palo, ostacolo rigido, drenaggio, barriera di sicurezza, terminale, attenuatore d'urto, possibile invasione della carreggiata opposta), costi dei morti, dei feriti e dei danni materiali conseguenti agli incidenti, costi diretti delle alternative (installazione, manutenzione ordinaria e manutenzione in seguito agli incidenti), vita utile dell'intervento e tasso d'interesse.

La metodologia di scelta delle alternative è formulata in termini di benefici e di costi incrementali. E' così possibile confrontare interventi di tipo diverso, come lo spostamento di una serie di pali della luce e la protezione dei pali con barriere di sicurezza, o confrontare interventi dello stesso tipo realizzati con differenti livelli di spesa, come l'installazione di barriere di sicurezza con differente livello di prestazione.

La metodologia può essere applicata sia per scegliere l'intervento più conveniente in un determinato sito, sia per stimare gli interventi che possono consegnare i maggiori i benefici in una data area di riferimento, assegnato un budget.

Il metodo, dopo un opportuno studio di validazione, potrebbe anche essere utilizzato nei futuri aggiornamenti della normativa per la definizione dei criteri di scelta del livello di prestazione delle barriere di sicurezza o per la definizione di linee guida europee, oggi assenti, per la scelta del livello di prestazione delle barriere di sicurezza.

Aspetto essenziale del modello è la possibilità di tenere conto della probabilità di contenimento delle barriere di sicurezza in relazione al livello di prestazione ed alle caratteristiche della strada e del traffico.

La probabilità dei contenimento dei veicoli è calcolata in funzione del tipo di strada, delle caratteristiche della strada, della ripartizione del traffico leggero e pesante nelle corsie di marcia, della composizione del traffico e del livello di prestazione delle barriere. Le probabilità di contenimento dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti sono calcolate con procedure differenti. Dato un incidente, la probabilità di contenimento della barriera è calcolata come la somma dei prodotti delle probabilità di contenimento delle tipologie di veicolo per le corrispondenti percentuali.

Data una barriera, il veicolo con essa collidente viene ridiretto in carreggiata se l'energia d'impatto calcolata con riferimento alla componente della velocità ortogonale alla barriera è inferiore all'energia d'impatto limite della barriera. Nel caso dei veicoli pesanti, l'energia d'impatto limite della barriera è assunta pari al Livello di contenimento della barriera moltiplicato per dei fattori correttivi, calcolati mediante

simulazione dell'urto degli autocarri contro le barriere di sicurezza metalliche condotto con analisi dinamiche in campo non lineare, che tengono conto di:

- Curvatura orizzontale dell'asse stradale;
- Rapporto tra l'angolo d'impatto e l'angolo d'impatto nelle prove di omologazione della barriera;
- Rapporto tra la massa del veicolo e la massa del veicolo nelle prove di omologazione della barriera;
- Rapporto tra l'altezza del centro di massa del veicolo e l'altezza del centro di massa del veicolo nelle prove di omologazione della barriera.

Il limite principale della procedura consiste nell'utilizzo di dati d'incidentalità relativi a strade statunitensi. Tuttavia la struttura del modello è tale che in futuro potranno essere incorporati nella procedura nuove relazioni derivanti da dati d'incidentalità rilevati con ricerche appositamente condotte.

1.3 RICERCA DA ATTUARE

La ricerca ha prodotto apprezzabili risultati che sono stati di supporto alla progettazione di nuovi dispositivi di ritenuta, tuttavia la cultura nel settore della sicurezza dei margini non è ancora approfondita in misura sufficiente a consentire di ottimizzare le scelte relative all'installazione delle barriere di sicurezza sulle strade di nuova costruzione e, soprattutto, sulla rete esistente, i cui margini presentano un'ampia serie di difetti che incidono negativamente sul numero e sulla gravità degli incidenti legati alle fuoriuscite dalla carreggiata. Inoltre le disposizioni normative non sono da sole sufficienti a indirizzare i tecnici nella redazione del progetto della sicurezza di cui all'art. 2 del D.M. 223/92 e a risolvere tutti i problemi legati alla sicurezza dei margini stradali, come ad esempio l'individuazione delle zone da proteggere e le modalità di installazione delle barriere di sicurezza.

In relazione alle criticità individuate, la ricerca dovrà fornire le basi scientifiche necessarie a produrre, nel breve periodo, delle linee guida per la redazione del progetto della sicurezza di cui all'art. 2 del D.M. 223/92 e, nel medio e lungo periodo, delle linee guida per la messa in sicurezza dei margini della rete esistente.

Per il raggiungimento del primo obiettivo è necessaria un'attività di studio con forte valenza operativa che preveda il coinvolgimento sia di ricercatori che di progettisti ed esegua anche dei progetti pilota per individuare le principali problematiche che emergono nel progetto, in modo da fornire delle guide

sufficientemente complete per la redazione dei progetti.

Il raggiungimento del secondo obiettivo richiede invece un'attività di ricerca che comprende sia analisi numeriche per lo studio del comportamento delle barriere con condizioni di installazione e di impatto differenti da quelle delle prove d'urto in scala reale, sia approfondite indagini sperimentali per l'individuazione di correlazioni che leghino tra il numero di fuoriuscite le condizioni di fuoriuscita alle caratteristiche della strada e del traffico e per la definizione della severità dell'urto contro i differenti tipi di ostacoli.

1.4 RISULTATI ATTESI

Il risultato atteso della ricerca è la realizzazione di linee guida per la redazione del progetto della sicurezza dei margini, l'installazione delle barriere e la messa in sicurezza dei margini della rete esistente.

2 CONTENUTI E MODALITÀ DI REALIZZAZIONE

2.1 OGGETTO DELLA RICERCA

Obiettivo della ricerca è la realizzazione di linee guida per la redazione del progetto della sicurezza dei margini, l'installazione delle barriere e la messa in sicurezza dei margini della rete esistente.

I documenti da produrre, ciascuno costituente il risultato di una delle fasi della ricerca, sono:

1. Rapporto dettagliato sullo stato dell'arte della sicurezza dei margini stradali, contenente almeno:

- dati sugli incidenti per fuoriuscita, con confronti internazionali e analisi dell'evoluzione del fenomeno;
- stato dell'arte sulle analisi numeriche per la simulazione delle collisioni con le barriere di sicurezza e con gli ostacoli laterali;
- stato dell'arte sulle procedure di scelta delle barriere basate sulle analisi benefici/costi;
- confronto tra le procedure di scelta delle barriere riportate nelle normative internazionali;
- stato dell'arte sulle procedure di installazione delle barriere;
- stato dell'arte sulle procedure di manutenzione delle barriere;
- risultati delle ricerche sulle prestazioni in esercizio delle barriere;
- politiche di miglioramento della sicurezza dei margini nel mondo.

2. Linee guida per il progetto della sicurezza dei margini, contenenti almeno

- definizione dei contenuti minimi del progetto;
- definizione dei criteri di valutazione della distanza di sicurezza;
- definizione dei principali ostacoli che richiedono protezione;
- definizione della lunghezza minima di cui occorre prolungare le barriere per opere d'arte oltre lo sviluppo longitudinale strettamente corrispondente allo sviluppo longitudinale dell'opera;
- definizione delle tipologie di cunette per la quali si raccomanda protezione;

- definizione delle condizioni di installazione sullo spartitraffico in curva che si raccomanda di evitare;
- alcuni progetti campione;
- criteri di adeguamento dell'esistente.

3. Rapporto contenente le funzioni di prestazione delle barriere di sicurezza (capacità di contenimento limite, intesa come energia trasversale d'impatto in corrispondenza della quale non è contenuto il veicolo collidente), individuate con analisi numeriche e validazioni sperimentali, in relazione alle condizioni di installazione e di impatto, che tengano conto almeno di:

- larghezza dell'arginello;
- tipologia e grado di costipamento del terreno;
- angolo d'impatto;
- massa del veicolo;
- altezza del centro di massa;
- tipologia del veicolo (autocarro, bus, autoarticolato, autotreno);
- curvatura orizzontale.

4. Rapporto con i dati di dettaglio delle analisi d'incidentalità eseguite, contenente:

- tipologia di strada;
- caratteristiche strada (numero di corsie, larghezza corsie, larghezza banchine, larghezza margini, curvatura orizzontale, pendenza longitudinale, stato delle pavimentazioni, stato della segnaletica, illuminazione);
- caratteristiche del traffico (TGM, spettro di traffico, velocità media del flusso disaggregata per tipologia di veicolo, ottantacinquesimo percentile della velocità del flusso);
- caratteristiche dell'incidente (ostacolo urtato, veicoli coinvolti, danni alle persone, agli oggetti e ai veicoli, velocità d'impatto, angolo d'impatto, estensione laterale e longitudinale della fuoriuscita, dinamica dell'incidente).

5. Rapporto con le funzioni di fuoriuscita individuate, comprendente almeno le seguenti:

- relazione che esprima il numero di fuoriuscite in funzione di volume di traffico, tipo di strada, larghezza delle corsie, curvatura orizzontale e

pendenza longitudinale;

- distribuzione dell'estensione laterale delle fuoriuscite per ciascun tipo di strada;
- distribuzione dell'estensione longitudinale delle fuoriuscite per ciascun tipo di strada;
- distribuzione delle velocità e degli angoli d'impatto per ciascun tipo di strada;
- indici di severità degli ostacoli (rilevato, trincea, opera d'arte, albero, palo, ostacolo rigido, drenaggio, barriera di sicurezza, terminale, attenuatore d'urto, invasione della carreggiata opposta) per ciascun tipo di strada.

6. Modello di scelta degli interventi per il miglioramento della sicurezza basato sull'analisi benefici/costi e codificato in un software ingegnerizzato, completo di manuale d'uso e manuale ingegneristico e sottoposto ad analisi di sensibilità, validazione e applicazione in casi campione.

7. Proposta di integrazione delle norme sulle barriere di sicurezza (tipo di ostacoli da proteggere, distanze di sicurezza, con distinzione tra classi ottime di barriera e classi minime che possono rappresentare un ottimo nel caso di adeguamento di rete esistente con budget vincolato) basata sui risultati delle analisi sperimentali e delle analisi benefici/costi.

2.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE E ARTICOLAZIONE PER FASI

La ricerca si articolerà in 10 fasi, per ognuna delle quali si riportano di seguito le modalità esecutive e il prodotto finale.

Fase 1

Modalità esecutive: la fase 1 consisterà in analisi bibliografica, che potrebbe essere arricchita con delle visite di studio presso gli istituti esteri che affrontano la problematica della sicurezza dei margini con le metodologie più avanzate (FHWA, TTI e AASHTO negli Stati Uniti, SETRA in Francia, TRL in Inghilterra, VTI in Svezia, BAST in Germania).

Prodotto finale: rapporto sullo stato dell'arte.

Fase 2

Modalità esecutive: la fase 2 sarà condotta utilizzando i risultati dell'analisi bibliografica, attraverso il lavoro coordinato di un gruppo di esperti nel settore dei dispositivi di ritenuta e del progetto dei margini che dovranno anche realizzare dei progetti campione per verificare l'applicabilità delle soluzioni proposte.

Prodotto finale: linee guida per il progetto della sicurezza dei margini.

Fase 3

Modalità esecutive: la fase 3 dovrà essere realizzata mediante analisi numeriche e prove sperimentali di verifica. Le analisi numeriche dovranno tenere conto almeno dei seguenti aspetti: fenomeno tridimensionale, fenomeno dinamico, regime di grandi spostamenti, comportamento visco-elasto-plastico dei materiali, contatto strisciante tra veicolo e barriera, vincolo unilaterale tra pneumatici e pavimentazione, attrito ortotropo tra pneumatici e pavimentazione. Le verifiche sperimentali dovranno consistere in prove d'impatto in scala reale presso istituti autorizzati dal Ministero LL.PP. eseguite almeno nelle seguenti condizioni:

- Tratto simulante il bordo rilevato con differenti dimensioni dell'arginello e tipi di terreno;
- Differenti tipi di veicolo (autocarro, bus, autoarticolato, autotreno);
- Differenti masse, angoli d'impatto e altezze del centro di massa.

Prodotto finale: rapporto contenente le funzioni di prestazione delle barriere di sicurezza.

Fase 4

Modalità esecutive: la fase 4 consisterà nell'acquisizione e nel rilievo dei dati relativi agli incidenti per fuoriuscita su alcune reti campione. Le reti di riferimento si devono trovare in differenti aree geografiche, devono comprendere tutti i tipi di strada e devono essere rappresentativi della varietà di condizioni ambientali, di strada e di traffico che possono riscontrarsi in Italia. I rilievi dovranno essere eseguiti entro 24 ore dal momento dell'incidente.

I rilievi dovranno comprendere anche la misura del flusso e della sua composizione, le principali caratteristiche geometriche della strada e l'osservazione delle tracce dei pneumatici sui margini.

Prodotto finale: rapporto con i dati relativi agli incidenti rilevati.

Fase 5

Modalità esecutive: la fase 5 consisterà nell'analisi dei dati relativi agli incidenti rilevati. I dati dovranno essere analizzati da una squadra di esperti in modo tale da stimare la dinamica dell'incidente, la velocità e l'angolo d'impatto.

Prodotto finale: rapporto contenente, per ogni incidente studiato, i dati rilevati e i dati elaborati in seguito alle analisi.

Fase 6

Modalità esecutive: la fase 6 rappresenta il prosieguo della fase 4.

Prodotto finale: rapporto con i dati relativi agli incidenti rilevati.

Fase 7

Modalità esecutive: la fase 7 rappresenta il prosieguo della fase 5.

Prodotto finale: rapporto contenente, per ogni incidente studiato, i dati rilevati e i dati elaborati in seguito alle analisi.

Fase 8

Modalità esecutive: la fase 8 essere realizzata mediante l'elaborazione dei dati risultanti dalle fasi 5 e 7.

Prodotto finale: rapporto con le funzioni di fuoriuscita individuate.

Fase 9

Modalità esecutive: in una prima fase si dovrà procedere utilizzando, ingegnerizzando e migliorando i modelli esistenti per la scelta delle barriere di sicurezza, in una fase successiva si dovranno incorporare nei modelli stessi i risultati delle analisi sperimentali. In ultimo il modello elaborato dovrà essere sottoposto ad applicazioni pilota, analisi di sensibilità e validazione.

Prodotto finale: modello di scelta degli interventi codificato in un software ingegnerizzato e completo di manuale d'uso e manuale ingegneristico.

Fase 10

Modalità esecutive: confronto delle indicazioni delle normative esistenti con i risultati della ricerca e applicazioni del modello di scelta elaborato per definire delle indicazioni normative di validità generale.

Prodotto finale: proposta di revisione delle norme sulle barriere di sicurezza.

2.3 TEMPI, RISORSE E COSTI

Di seguito si riporta un diagramma il programma temporale della ricerca, con stima dei costi e delle risorse necessarie. Si precisa che i costi per i controlli da parte delle forze di polizia, per le attrezzature di rilievo delle velocità e per la costruzione e installazione dei limitatori di velocità dovranno essere a carico del Ministero. I costi di seguito indicati sono comprensivi delle spese generali dell'ente di ricerca.

I costi delle risorse umane sono stati così ipotizzati:

- Senior 50'000'000 £/mese
- Junior 1 38'000'000 £/mese
- Junior 2 30'000'000 £/mese
- Tecnico laureato 20'000'000 £/mese
- Tecnico non laureato 10'000'000 £/mese

Le linee guida potranno essere realizzate in due fasi; delle linee guida preliminari dopo l'implementazione delle strategie di controllo della velocità e una revisione delle stesse dopo il monitoraggio dell'efficacia degli interventi.

Al termine del primo anno il risultato della ricerca consisterà nella redazione del rapporto sullo stato dell'arte, nella redazione delle linee guida per il progetto delle barriere, nella definizione delle funzioni di prestazione delle barriere e in analisi di incidentalità, con un costo di 660 milioni.

Nel secondo anno si completeranno le analisi di incidentalità, con la conseguente elaborazione delle funzioni di fuoriuscita, e si realizzeranno il modello di scelta e l'integrazione delle norme, con un costo di 540 milioni.

Tabella 1 Tempi, risorse e costi della ricerca

Fase		I° anno				II° anno				Costo (10 ⁶ £)
1	Bibliografia									60 (0.1 senior + 0.5 junior2 + 2 tecnico I)
2	Linee guida progetto									150 (1 senior + 2 junior2 + 2 tecnico I)
3	Funzioni di prestazione delle barriere									190 (0.1 senior + 3.5 junior2 + 4 tecnico I)
4	Acquisizione e rilievo dati di incidente – parte 1									100 (0.2 senior + 1 junior 2 + 6 tecnico nl)
5	Analisi di incidentalità – parte 1									160 (0.2 senior + 1 junior 2 + 6 tecnico I)
6	Acquisizione e rilievo dati di incidente – parte 2									50 (0.1 senior + 0.5 junior 2 + 3 tecnico nl)
7	Analisi di incidentalità – parte 2									80 (0.1 senior + 0.5 junior 2 + 3 tecnico I)
8	Funzioni di fuoriuscita									50 (1 junior 2 + 1 tecnico I)
9	Modello di scelta									280 (1 senior + 5 junior 2 + 4 tecnico I)
10	Integrazione norme									80 (1 senior + 1 junior2)
Totale										1200

660**540**

2.4 MODALITÀ DI ARCHIVIAZIONE DEI DATI E DEI RISULTATI CONSEGUITI

Il rapporto conclusivo di ciascuna delle 7 fasi della ricerca dovrà essere presentato secondo le seguenti modalità:

- rapporto su carta;
- cd-rom con relazioni in formato Word, dati in formato ASCII o su cartelle di lavoro excel;
- documentazione fotografica e su videocassetta dei rilievi di incidente;
- grafici esplicativi degli incidenti analizzati.

3 QUALIFICAZIONE E MODALITÀ DI AGGIUDICAZIONE

3.1 COMPETENZE NECESSARIE

Le competenze minime richieste sono le seguenti:

- Esperienza nell'ingegneria stradale;
- Esperienza nella modellazione numerica delle collisioni con le barriere di sicurezza;
- Conoscenza dei principi di funzionamento dei dispositivi di ritenuta;
- Esperienza nelle analisi di incidentalità;
- Esperienza nel rilievo degli incidenti;
- Esperienza nella rilevazione del traffico;
- Esperienza nella specificazione, implementazione, calibrazione e validazione di modelli multivariati;
- Esperienza nella programmazione.

3.2 CRITERI DI AGGIUDICAZIONE E DI COLLAUDO

I criteri per l'aggiudicazione dell'incarico saranno i seguenti:

- qualificazione professionale e scientifica del proponente (certificazioni di qualità, risorse disponibili, personale impiegato, curriculum, capacità di ricerca in campi affini, pubblicazioni in campi affini) (sino a 70 punti);
- offerta economica (sino a 20 punti);
- qualità della relazione di offerta (sino a 10 punti).

Il collaudo sarà svolto mediante esame annuale dei risultati intermedi conseguiti.

4 BIBLIOGRAFIA

1. AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials, *"Roadside design guide"*, Washington, D.C., USA, 1996.
2. AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials, *"Guide for Selecting, Location, and Designing Traffic Barriers"*, Washington, D.C., USA, 1977.
3. Carney J. F. III, *"Formulating a strategic plan for improving roadside safety"*, Workshop Future Directions in Roadside Safety, Woods Hole, Massachusetts, USA, 27-30 luglio, 1997.
4. CEN (Draft) Pr EN 1317-4 *"Road restraint systems – part 4: Impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers."* Giugno 1998.
5. CEN (Draft) Pr EN 1317-5 *"Road restraint systems – part 5: Durability criteria and evaluation of conformity."* Giugno 1998.
6. CEN (Draft) Pr EN 1317-6 *"Road restraint systems – part 6: Pedestrian road restraint system."* Febbraio 1997.
7. CEN Pr EN 1317-3 *"Road restraint systems – part 3: Crash cushions-Performance impact test acceptance criteria and test methods for crash cushions."* Febbraio 1997.
8. Chalcote, L. R., e al., *"Determination of the Operational Performance for a Roadside Accident Countermeasure System"*, Final Report FHWA Contract No. DOT-FH-11-9523, Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, USA, 1985.
9. Cooper P., *"Analysis of Roadside Encroachments--Single Vehicle Run-off-Road Accident Data Analysis for Five Provinces"*, B. C. Research, Vancouver, British Columbia, Canada, 1980.
10. FHWA Federal Highway Administration, *"Benefit to Cost Analysis Program"*, Pubblicazione n° FHWA-TS-88, Turner-Fairbank Highway Research Center, McLean, VA, USA, giugno 1988.
11. Glennon J. C., *"Road Safety Improvement Programs on Freeways - A Cost-Effectiveness Approach"*, NCHRP Report 148, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D. C., USA, 1974.
12. Hutchinson J. W., Kennedy T. W., *"Medians of Divided Highways--Frequency and Nature of Vehicle Encroachments"*, Engineering Experiment Station Bulletin 487, University of Illinois, USA, 1966.
13. ISTAT, *"Statistica degli incidenti stradali"*, Anno 1998.
14. Khasnabis S., Naseer M., Baig M, Opiela K., *"Roadside Analysis Program as a Tool for Economic Evaluation of Roadside Safety Projects"*, Transportation Research Record 1690, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1999, pp. 31-41.
15. Mak K. K., *"Safety Effects of Roadway Design Decisions-Roadside"*, Transportation Research Record 1512, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1995, pp. 16-21.

16. Mak K. K., Sicking, D. L., Ross H. E. Jr., "Real World Impact Conditions for Ran-off-the-Road Accidents", Transportation Research Record 1065, Transportation Research Board, Washington, D. C., USA, 1986.
17. Mak. K. K., "Methods for analyzing the cost-effectiveness of roadside safety features", Workshop Roadside Safety Research Needs, Woods Hole, Massachusetts, USA, 11-13 agosto, 1994.
18. Mak. K. K., Sicking D.L., Zimmerman K., "Roadside Safety Analysis Program: a cost-effectiveness procedure", Transportation Research Record 1647, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1998, pp. 67-74.
19. Martin O. S., Wekezer J. W., "Crash impact analysis of the G2 guardrail: a validation study", 77th TRB Annual Meeting, Washington, D.C., USA, 1998.
20. McFarland, W. F., Ross, H. E, Jr., Edwards, T. C., Martinez, J. E., "Development of Design Criteria for Safer Luminaire Supports", National Cooperative Highway Research Program, Report 77, USA, 1969.
21. McGinnis R. G., "Translating strategies into actions", Workshop Future Directions in Roadside Safety, Woods Hole, Massachusetts, USA, 27-30 luglio, 1997.
22. Ministero LL.PP., "D.M. 11/6/1999, integrazioni e modificazioni al decreto ministeriale 3 giugno 1998 recante aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione l'impiego delle barriere stradali di sicurezza".
23. Ministero LL.PP., "D.M. 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".
24. Ministero LL.PP., "D.M. 18/2/1992 n°223, Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza".
25. Ministero LL.PP., "D.M. 3/6/1998, 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".
26. Ministero LL.PP., "Circolare 11 luglio 1987, n°2337, legge 21 aprile 1962, n°181, art. 1, lettera f. provvedimenti per la sicurezza stradale. Barriere stradali. Specifica per l'impiego delle barriere in acciaio".
27. Ministero LL.PP., "Decreto legislativo 30 aprile 1992, n°285, Nuovo Codice della Strada".
28. Montella A., "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.
29. Montella A., Perneti M., " HGV collisions against road safety barriers in relation to the parameters which define impact severity ", 79th Transportation Research Board Annual Meeting, 9-13 gennaio 2000, Washigton, D.C., USA.
30. Montella A., Perneti M., "The collision of the heavy goods vehicles against the road safety barriers on horizontal curves", 10th International Traffic Safety on Two Continents, Malmo, Svezia, 20-22 settembre 1999.

31. Montella A., Perneti M., "*Heavy-Goods Vehicle Collisions with Steel Road Safety Barriers: Combined Influences of Position of Center of Mass and of Tire-Pavement Friction*", Transportation Research Record 1690, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1999, pp. 84-94.
32. Montella A., "*Un modello di scelta del livello di prestazione delle barriere di sicurezza stradali*", Tesi di dottorato in Ingegneria dei Trasporti, XII ciclo, Napoli, gennaio 2000.
33. Montella A., "*Benefit/cost analysis for the selection of roadside safety alternatives*", Convegno "Traffic Safety on Three Continents", Pretoria, Sud Africa, 20-22 settembre 2000.
34. Montella A., "*La scelta del livello di prestazione delle barriere di sicurezza stradali*", rivista "Strade e Autostrade", n° 5 settembre/ottobre 2000.
35. Montella A., "*Un modello di scelta degli interventi per il miglioramento della sicurezza dei margini stradali*", X Convegno Nazionale SIV, Catania, 26-28 Ottobre 2000.
36. Opiela K., "*Implementation and research needs*", Workshop Future Directions in Roadside Safety, Woods Hole, Massachusetts, USA, 27-30 luglio, 1997.
37. Perchonok K., "*Hazardous Effects of Highway Features and Roadside Objects*," Vol. 2, Report n° FHWA-RD-78-202, Federal Highway Administration, Washington, D. C., 1978.
38. Perneti M., "*Studio analitico della collisione dei veicoli pesanti contro le barriere di sicurezza stradali*", Tesi di dottorato in Ingegneria dei Trasporti, Napoli, febbraio 1995.
39. Perneti M., "*Indagine sul comportamento del veicolo e della barriera in una prova di crash mediante analisi numerica*", Giornata di studio sul tema "La sicurezza intrinseca delle infrastrutture stradali", Roma, 20-21 febbraio 1997.
40. Perneti M., Montella A., "*Influenza dell'Indice di Severità e dell'altezza del baricentro nelle collisioni degli autocarri contro le barriere stradali di sicurezza in acciaio*", Convegno SIV "La Sicurezza Stradale", Pisa, 29-30 ottobre 1997.
41. Perneti M., Montella A., "*Studio sulla severità dell'urto contro le barriere stradali di sicurezza in relazione alle condizioni d'impatto*", XXIII Convegno Nazionale Stradale, Verona, 18-21 maggio 1998.
42. Ray M. H., "*Use of finite element analysis in roadside hardware design*", Transportation Research Circular 453, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1996, pp. 61-71.
43. Ray M. H., "*In-service performance evaluation of traffic barriers*", 10th International Conference Traffic Safety on Two Continents, Malmo, Svezia, 20-22 settembre 1999.
44. Reid J. D., Bielenberg B. W., "*Using LS-Dyna Simulation to Solve a Design Problem: Bullnose Guardrail example*", Transportation Research Record 1690, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1999, pp. 95-102.
45. Ross H.E., Sicking D.L., Zimmer R.A., "*Recommended procedures for the safety evaluation of highway features*," NHCRP Report 350, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1993.

46. Sicking D.L., Mak. K. K., Zimmerman K., “*Roadside Safety Analysis Program (RSAP): Engineer’s manual*”, Final Report, NCHRP Project 22-9 Improved procedures for cost-effectiveness analysis of roadside safety features, TRB, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1998.
47. Transportation Research Board, Special Report 214 “*Designing safer roads - practices for resurfacing, restoration and rehabilitation*”, Washington, D.C., USA, 1987.
48. UNI EN 1317-1 “*Barriere di sicurezza stradali. Terminologia e criteri generali per i metodi di prova.*” Versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1317-1, edizione aprile 1998.
49. UNI EN 1317-2 “*Barriere di sicurezza stradali. Classi di prestazione, criteri di accettazione delle prove d’urto e metodi di prova per le barriere di sicurezza.*” Versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1317-2, edizione aprile 1998.
50. Wright P., Robertson L., “*Priorities for roadside hazard modification: a study of 300 fatal roadside object crashes*”, Traffic Engineering, vol. 46 n°8, agosto 1976.
51. Zegeer C. V., Parker M. R., “*Cost-Effectiveness of Countermeasures for Utility -Pole Accidents*”, Final Report, FHWA Contract No. DOT-FH-11-00178, Goodell-Grivas, Inc., Southfield, Michigan, USA, 1983.