

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 8

**MISURE PER IL MIGLIORAMENTO DELLA
SICUREZZA DELLA CIRCOLAZIONE IN
PRESENZA DI CANTIERI**

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	4
1.1	MOTIVAZIONI DEL TEMA DI RICERCA.....	4
1.2	STATO DELL'ARTE	5
1.2.1	PREMESSA.....	5
1.2.2	INCIDENTALITA'	6
1.2.3	LIMITI DEI DATI DI INCIDENTALITA' RACCOLTI	9
1.2.4	CONFRONTO FRA I METODI DI ANALISI DELL'INCIDENTALITA'	12
1.2.5	FATTORI DI INCIDENTALITA'.....	15
1.2.6	GESTIONE DELLE VELOCITA'	21
1.2.7	LE MISURE DI SICUREZZA	23
1.2.8	COMPOSIZIONE DELLE AREE DEL CANTIERE	25
1.2.9	DISPOSITIVI DI CONTROLLO DEL TRAFFICO	26
1.2.10	EQUIPAGGIAMENTO STRADALE	29
1.2.11	EFFETTI DELLE MISURE DI SICUREZZA.....	30
1.2.12	MISURE DI SICUREZZA INNOVATIVE	33
1.2.13	ASPETTI NORMATIVI IN ITALIA.....	36
1.3	RICERCA DA ATTIVARE	43
1.4	RISULTATI ATTESI.....	44
2	CONTENUTI E MODALITA' DI REALIZZAZIONE	44
2.1	OGGETTO DELLA RICERCA.....	44
2.1.1	RAPPORTO SULLO STATO DELL'ARTE.....	44
2.1.2	REDAZIONE DI RACCOMANDAZIONI DEFINITE SULLA SCORTA DELLA LETTERATURA INTERNAZIONALE.....	45
2.1.3	PREDISPOSIZIONE DI UNA SCHEDA DI RILEVAMENTO DEGLI INCIDENTI.....	46
2.1.4	RILEVAMENTO ED ELABORAZIONE DEGLI INCIDENTI	46
2.1.5	ANALISI DEI DATI RELATIVI AGLI INCIDENTI	47
2.1.6	ADEGUAMENTO DELLE LINEE GUIDA DI CUI ALLA FASE 2.....	47
2.2	MODALITA' DI ESECUZIONE	47
2.3	TEMPI, RISORSE E COSTI	49
2.4	MODALITÀ DI ARCHIVIAZIONE DEI DATI E DEI RISULTATI CONSEGUITI	50
3	QUALIFICAZIONE E MODALITÀ DI AGGIUDICAZIONE	51

3.1	COMPETENZE NECESSARIE	51
3.2	CRITERI DI AGGIUDICAZIONE E DI COLLAUDO	51

1 MOTIVAZIONI E RISULTATI DELLA RICERCA

1.1 Motivazioni del tema di ricerca

Gli interventi di potenziamento della rete stradale e quelli di manutenzione e ripristino dell'originaria funzionalità hanno come obiettivo il miglioramento delle condizioni di deflusso del traffico e della sicurezza della circolazione che si sono determinate nel tempo. La loro esecuzione, tuttavia, induce un netto decadimento, seppur temporaneo, delle condizioni di circolazione. Dal punto di vista della sicurezza si ha, infatti, che la presenza dei cantieri induce un incremento del tasso di incidentalità variabile dal 30 al 100% e che il numero degli incidenti in corrispondenza degli stessi, rapportato al numero di incidenti complessivo, varia dall'1 al 3%.

Gli studi condotti fino ad ora sono stati rivolti, tra le altre cose, alla valutazione dell'entità del fenomeno, al rilevamento dei fattori che maggiormente condizionano la sicurezza della circolazione ed alla valutazione delle misure relative ai cantieri che possono influenzare il comportamento dei guidatori e migliorare la sicurezza degli addetti ai lavori e degli utenti stessi della strada. I risultati ottenuti, tuttavia, non sono esaustivi ed inoltre, essendo stati ricavati per differenti paesi/regioni e tipi di cantieri, sono di tipo generale e non certo utili per effettuare un'analisi di tipo benefici/costi relativa ad uno specifico sito. Quest'ultima considerazione è particolarmente vera in Italia, ove non risulta siano stati effettuati studi sull'argomento in grado di tenere conto delle specificità del comportamento degli automobilisti italiani. L'applicazione nel nostro Paese di criteri generali ricavati in altri contesti non è, pertanto, né immediata né di indubbia validità..

Da quanto sopra detto appare evidente che in Italia occorre definire un programma di ricerca finalizzato alla valutazione dello stato della sicurezza della circolazione nei cantieri, all'applicazione dei criteri definiti in altri paesi ed alla definizione di linee guida per il progetto delle aree di cantiere e la scelta dei relativi dispositivi di controllo e sicurezza. Sulla base di ciò si sono individuati tre obiettivi, appresso descritti, che possono essere perseguiti con un'attività di ricerca suddivisa in 6 fasi.

Primo obiettivo - Il tracciamento di linee guida iniziali basate sui risultati ottenibili

dalla letteratura internazionale.

Secondo obiettivo - La definizione di relazioni che legano l'incidentalità nei cantieri ai fattori che la condizionano in Italia;

Terzo obiettivo - L'adeguamento delle linee guida, costituenti il primo obiettivo, effettuato sulla scorta di dati inerenti la realtà del nostro Paese.

1.2 STATO DELL'ARTE

1.2.1 PREMESSA

Gli studi effettuati su tutto ciò che concerne la sicurezza stradale nei cantieri non sono particolarmente numerosi e mancano pressochè del tutto in Italia. Uno studio di particolare rilievo è quello condotto nell'ambito del progetto ARROWS (Advanced Research on ROad Work Safety Standards in Europe), (33-38) promosso dalla commissione europea all'interno del 4° programma quadro del Transport RTD Programme, con l'obiettivo principale di sviluppare un sistema unificato di misure e di principi di sicurezza, applicabili ai cantieri stradali, per regolarne la pianificazione, il progetto e le operazioni e di produrre un manuale di guida per i managers di tutti i livelli.

I contenuti delle ricerche esaminate sono sintetizzati nei paragrafi che seguono e sono stati organizzati in maniera da:

- verificare la natura e l'entità dei problemi di sicurezza del traffico connessi alla presenza dei cantieri sulla rete stradale, valutando i dati di incidentalità ad essi relativi;
- esaminare i metodi adottati per effettuare l'analisi di incidentalità accertandone potenzialità e limiti;
- rilevare i fattori di incidentalità e il relativo peso;
- valutare le misure relative ai cantieri che possano influenzare il comportamento dei guidatori e migliorare la sicurezza degli addetti ai lavori e degli utenti stessi della strada;
- analizzare le misure di sicurezza dei cantieri e i relativi requisiti;
- identificare sistemi innovativi per migliorare la sicurezza dei cantieri stradali.

1.2.2 INCIDENTALITA'

1.2.2.1 Fattori di incidentalità individuati in relazione ai cantieri stradali, in particolare dal confronto con la situazione della sede stradale in assenza degli stessi

- **Dati di incidentalità nei cantieri:** le informazioni disponibili non consentono di individuare un tasso di incidentalità “tipico” (Finlandia: da 2.6 a 5.8 inj.acc./bn veh-Km; autostrade U.K.: 0.154 inj.acc./m veh-Km, rispetto a 0.098 inj.acc./m veh-Km in assenza di lavori; Giappone: 70 – 90 acc. per 100 m veh-Km);
- Negli U.S.A. i dati annuali sul numero di incidenti legati alla presenza di cantieri autostradali ammontano a circa: 700-800 morti; 24.000 incidenti con feriti; 52.000 incidenti con danni soltanto alla proprietà (4);
- Uno studio condotto in California nel 1965 ha riscontrato un aumento del tasso di incidentalità durante i lavori del 21.4% per cantieri di durata decennale (13);
- **Dati di incidentalità nei cantieri confrontati con il totale degli incidenti:** appare una proporzione variabile dall'1 al 3%;
- **Dati di incidentalità nei cantieri confrontati con i dati di incidentalità in assenza di cantieri:** quasi universalmente in presenza di cantieri si rileva un aumento del tasso: i dati variano da +30 a +100%;
- Graham e altri hanno analizzato gli incidenti avvenuti prima e durante i lavori in 79 cantieri dislocati in 7 stati, tra il 1974 e il 1976, riscontrando per tutti un incremento del 7.5%. La variazione del tasso di incidentalità si è mostrata sostanzialmente dipendente dalla situazione specifica, tuttavia, nel 24% dei casi si è riscontrato un incremento pari o superiore al 50 %, mentre nel 31% si è notata una diminuzione (14).
- Un incremento globale del tasso di incidentalità pari al 7% è stato rilevato per 21 progetti di adeguamento condotti sulla rete autostradale extraurbana in Ohio tra il 1975 e il 1977 (15).
- Un incremento del numero totale di incidenti pari al 61% è stato osservato in 207 progetti di rifacimento del manto stradale su autostrade a due corsie in Georgia (16).
- Il tasso di incidentalità rilevato tra il 1973 e il 1975 durante l'allargamento della Capital Beltway dal lato della Virginia, è risultato maggiorato del 119% rispetto a quello del periodo precedente i lavori (17);
- L'aliquota degli incidenti nei cantieri è risultata significativamente più alta

(21,5%) di quella prima dell'insediamento delle attività, relativamente allo stesso tratto stradale (4);

- **Severità degli incidenti nei cantieri:** il quadro generale evidenzia una diminuzione di severità, anche se non mancano dati contraddittori.
 - Uno studio condotto in Virginia nel 1977 ha indicato che gli incidenti nei cantieri tendevano ad apparire leggermente meno severi rispetto alla media quando confrontati ai dati relativi agli incidenti con soli danni materiali e ai dati numerici sul numero di persone decedute o ferite per incidente (20);
 - Uno studio condotto in Texas nel 1978 ha trovato che gli incidenti nei cantieri risultano essere più severi di quelli accaduti altrove, con un incremento del 5.1% di incidenti mortali, anche se un altro studio basato sugli stessi dati ha fornito risultati contrastanti (18) (19);
 - la crescita dell'aliquota degli incidenti senza feriti è maggiore rispetto a quella degli incidenti con feriti (23,8 contro 17,4 rispettivamente) (4).

1.2.2.2 Tipi di incidenti più comuni nei cantieri

Un dato rilevante è quello relativo al maggior numero di tamponamenti e di collisioni laterali nella stessa direzione, così come di incidenti caratterizzati dal coinvolgimento di più veicoli. Uno studio britannico evidenzia una marcata diminuzione degli incidenti per perdita di controllo. Studi condotti negli Stati Uniti (Virginia, Ohio) e in Danimarca identificano come molto comuni gli incidenti dovuti a collisione con oggetti. Due studi americani sottolineano una maggiore incidenza dei mezzi pesanti sugli incidenti riscontrati.

1.2.2.3 Relazione fra i dati di incidentalità trovati e la tipologia del cantiere

- **Tipo di strada:**
 - **Autostrade:** il rischio nei cantieri sta nel rapporto 1/2 con quello sulle strade extraurbane primarie (senza cantieri) e di 1/6 con quello sulle strade urbane principali (senza cantieri) (U.K.);
 - **Strade interstatali:** si evidenzia il più alto numero di incidenti (U.S.);
 - **Strade extraurbane:** +33% di incidenti; **strade rurali primarie:** +17%; **strade rurali secondarie:** +23%; (U.S.; New Mexico);
 - **Strade urbane:** incremento significativo del numero di incidenti in prossimità o

in corrispondenza delle intersezioni.

- **Tipo di lavoro:**

- **diversi tipi di lavori sulle autostrade:** *rimozione di neve, ghiaccio:* aumento del tasso di incidentalità, ma diminuzione degli incidenti gravi; *rimozione di detriti:* minor tasso di incidentalità e diminuzione degli incidenti gravi; *ripristino della segnaletica:* aumento degli incidenti gravi; *interventi sulla pavimentazione:* massima frequenza di incidenti gravi;
- **cantieri di breve durata e limitata estensione:** aumento del tasso di incidentalità;
- **cantieri stazionari:** aumento del tasso di incidentalità correlato all'impatto con oggetti fissi (U.S.).
- **Interazione fra strada e cantiere:**
 - **Confronto fra *full-contraflow* e *partial-contraflow*:** il primo presenta un maggiore aumento del tasso di incidentalità (autostrade britanniche a doppia carreggiata);
 - ***Contraflow* (da 4 corsie separate a due corsie bidirezionali):** 5 incidenti su 15 sulla corsia di percorrenza, 10 sul *median crossover* (U.S., Nebraska);
 - **Chiusura di corsia in autostrada:** la maggior parte degli incidenti per la chiusura della *passing-lane* (42-58%), il resto per la chiusura della *middle-lane* (Giappone);
 - **Deviazione:** *autostrade extraurbane:* 41% di incremento del tasso di incidentalità totale, 31% di incremento del numero di incidenti gravi o fatali; *autostrade urbane:* 34% di incremento del tasso di incidentalità totale, 25% di incremento del numero di incidenti gravi o fatali; *strade urbane a due corsie:* 47% di incremento del tasso di incidentalità totale, 73% di incremento del numero di incidenti gravi o fatali (U.S.).
 - **Cantieri sulle banchine o a margine della carreggiata:** *autostrade urbane:* incremento sostanziale del tasso di incidentalità per la riduzione dei limiti di velocità di 20 mph (U.S.).

1.2.2.4 Effetto delle diverse misure sul livello di sicurezza della zona lavori

L'informazione relativa all'effetto delle misure di sicurezza sugli incidenti nei cantieri sembra essere disaggregata. Due studi americani (Ohio) citano l'insufficiente controllo del traffico e l'inadeguata protezione delle barriere quali cause degli

incidenti nei cantieri; un altro studio (condotto in 7 stati) identifica una forte correlazione tra i dispositivi di controllo del traffico e gli incidenti connessi all'impatto con oggetti fissi ed evidenzia che l'incremento del tasso di incidentalità è leggermente più marcato per progetti con una riduzione del limite di velocità. Si segnala uno studio americano che ha proposto il sistema WZADP (WorkZone Accident Data Process) per raccogliere i dati di incidentalità correlandoli alle misure di controllo del traffico usate.

1.2.2.5 Disaggregazione degli impatti della sicurezza sui diversi gruppi interessati (in particolare utenti stradali e lavoratori)

A parte uno studio condotto negli Stati Uniti sulla sicurezza dei lavoratori nei cantieri, le sole altre informazioni disponibili sulla disaggregazione in esame vengono dalla Spagna (1.34% di lavoratori coinvolti negli incidenti sui cantieri); Illinois (una piccola percentuale di autisti di camion coinvolti in incidenti nei cantieri); NCHRP (U.S.) (crescita del 29% degli incidenti con pedoni); lo studio citato inizialmente riporta: 23% di incidenti con coinvolgimento di lavoratori addetti al traffico; 19% con lavoratori addetti alle macchine; 28% con lavoratori addetti ai mezzi di supporto al traffico; 31% altro.

1.2.3 LIMITI DEI DATI DI INCIDENTALITÀ RACCOLTI

Gli studi esaminati non sono risultati uniformi in relazione allo scopo, alle procedure analitiche seguite e ai risultati prodotti. Essi sono riferiti a differenti paesi/regioni e tipi di cantieri, senza alcun confronto internazionale, per cui l'applicabilità dei risultati ad un contesto più ampio non risulta soddisfacente. Uno dei punti che gli studi di incidentalità hanno in comune è il confronto fra il livello di sicurezza in presenza di cantieri e il livello corrispondente al normale esercizio della strada: se applicata a un livello aggregato, l'informazione disponibile può essere considerata sufficiente a consentire un'adeguata previsione del tasso di incidentalità e della severità degli incidenti, specialmente se è noto il livello di sicurezza della strada prima dell'impianto del cantiere.

L'analisi e l'interpretazione degli incidenti nei cantieri è complicata da un certo numero di problemi, alcuni dei quali sono di seguito riportati:

- i campioni utilizzati in molti studi sono troppo spesso di entità abbastanza

limitata;

- l'analisi statistica effettuata dovrebbe essere migliorata;
- esiste un problema di ambiguità dei dati;
- il numero degli incidenti rilevato nei cantieri stradali è, probabilmente, inferiore a quello reale per il fatto che molti incidenti di gravità minore accaduti in prossimità del cantiere non sono registrati e che i tamponamenti che coinvolgono due veicoli in cui il precedente rallenta o si arresta per la presenza del cantiere potrebbero non essere riportati come dipendenti dai lavori in corso;
- non esistono risultati esaurienti sulla sicurezza relativa delle varie aree del cantiere (con l'ovvia eccezione del tratto che segue il cantiere, risultato più sicuro degli altri).
- si evidenziano problemi relativi allo svolgimento delle analisi di incidentalità;
- il rilevamento dei dati di incidentalità, nelle fasi precedente e contemporanea alla presenza del cantiere non fanno sempre capo alla stessa localizzazione, riferendosi, ad esempio a condizioni di guida e climatiche rilevate da pattuglie di polizia stradale afferenti a distretti distinti (4).
- infine, l'aspetto più problematico consiste nel fatto che molti degli stessi autori ammettono che le procedure utilizzate per la raccolta dei dati potrebbero essere deviate (34).

Nelle sezioni 1051 e 2002, l'Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA) (9) ha richiesto alla Secretary of Transportation di sviluppare ed implementare un programma per il miglioramento delle condizioni di sicurezza nei cantieri stradali e di mettere a punto un criterio uniforme per la registrazione degli incidenti. Il National Transportation Safety Board (NTSB) ha pubblicato, nel 1992 (11) due raccomandazioni relative alla registrazione degli incidenti. Nella prima si vuole che gli incidenti con eventuale coinvolgimento di persone vengano distinti a seconda se risultino coinvolti gli addetti ai lavori o i conducenti dei veicoli che transitano in prossimità del cantiere. La seconda promuove la revisione, in collaborazione con la Federal Highway Administration dei moduli di registrazione degli incidenti usati in tutti gli stati membri, con individuazione delle informazioni che opportunamente tale documento dovrà contenere. Tutto ciò è mosso dall'esigenza di ottenere una raccolta di dati relativa ai cantieri più dettagliata e di più semplice e immediata consultazione (12).

Le ultime ricerche in materia di sicurezza dei cantieri sono indirizzate verso controlli ed indicazioni differenziati per le diverse tipologie di equipaggiamenti, di barriere, di segnaletica e di pratiche lavorative. L'intento è quello di avere quante più

informazioni utili ad una visione più chiara della dinamica degli incidenti nei cantieri. Purtroppo, relativamente a questi, si dispone unicamente dei dati sugli incidenti mortali, mentre non sono forniti dettagli sugli altri tipi di incidenti (che non sono messi in correlazione alla presenza di cantieri).

Una raccolta sistematica dei dati di incidentalità potrebbe consentire anche una gestione più efficace della sicurezza del cantiere.

A tal proposito si riporta uno studio (3) condotto dall'IDOT (Illinois Department of Transportation), che fornisce un modello approntato per raccogliere, processare e usare con continuità le informazioni relative all'andamento di un determinato cantiere per migliorarne la sicurezza. Il modello fornisce un quadro dell'incidentalità e dell'esposizione al rischio precedenti all'impianto del cantiere, formula raccomandazioni per valutare le misure di sicurezza durante la pianificazione e il progetto del cantiere stesso, consente il monitoraggio delle condizioni della zona lavori in funzione della sicurezza e conduce ad un'analisi tempestiva dell'incidentalità, permettendo una rapida scelta e un immediato approntamento di opportune contromisure.

Il modello del processo di monitoraggio continuo per la gestione della sicurezza del cantiere prevede:

- La costruzione di una banca dati degli incidenti antecedenti il progetto di costruzione, da utilizzare come base per la valutazione dell'incidentalità relativa al cantiere;
- Lo sviluppo e l'adattamento continuo dei dispositivi di controllo del traffico nella zona lavori per minimizzare il rischio di incidenti;
- L'utilizzo di misure di esposizione al rischio per monitorare l'impatto del cantiere sul tratto di rete nelle sue vicinanze;
- L'assegnazione della responsabilità del monitoraggio e della gestione della sicurezza di un particolare cantiere ad un'apposita task force;
- L'analisi continua dei dati per utilizzare in maniera ottimale le risorse disponibili per il miglioramento della sicurezza e per gestire opportunamente i dispositivi dell'ITS (Intelligent Transportation System);
- L'adozione di un sistema avanzato di rilevamento dei dati incidentali per una migliore investigazione della sicurezza del cantiere;
- Il trasferimento delle informazioni processate alle amministrazioni interessate, per la costituzione di una banca dati per analisi a più ampio raggio.

1.2.4 CONFRONTO FRA I METODI DI ANALISI DELL'INCIDENTALITÀ'

Per molti anni gli incidenti stradali e la relativa stima sono stati oggetto, come visto finora, di numerosi studi e ricerche che si sono evoluti in diversi metodi di analisi, dalla verifica statistica dell'efficacia di un certo dispositivo di sicurezza, alla stima del numero di incidenti che possono presumibilmente verificarsi in certe circostanze. Ciascuno dei metodi disponibili si indirizza ad un diverso aspetto dell'analisi di incidentalità (1).

- **Analisi before-after:** una delle principali basi della conoscenza degli effetti di certi interventi sulla sicurezza stradale è lo studio eseguito con il tipo di analisi in esame. Il fondamento di questo metodo è il confronto fra la sicurezza dell'entità in studio (es. intersezione; sezione stradale; ecc.) prima e dopo la realizzazione di un determinato intervento. Il periodo di tempo considerato nelle due fasi deve, ovviamente, essere lo stesso e deve prolungarsi tanto da consentire l'osservazione della variazione del numero di incidenti. Quindi la variazione del livello di sicurezza è quantificata dalla variazione del tasso di incidentalità. Nel caso dei cantieri questo metodo si è rivelato inadatto per diverse ragioni, a cominciare proprio dai requisiti richiesti ai periodi di osservazione prima e dopo l'intervento, che in questo caso è rappresentato dal cantiere stesso. Il dato cercato è proprio la variazione del tasso di incidentalità causata dai lavori sulla sede stradale ma purtroppo esistono scarse possibilità di raccogliere dati sufficienti per l'applicazione del metodo dal momento che i cantieri interessano la sede stradale per periodi di tempo brevi, se confrontati con il normale esercizio dell'infrastruttura. Inoltre, anche se la durata del periodo di osservazione fosse sufficiente, le caratteristiche variabili del cantiere renderebbero comunque impossibile il verificarsi di fasi abbastanza stabili da confrontare con il normale assetto della strada.
- **Modelli statistici multivariabili:** un altro metodo comunemente usato è quello basato sull'adozione dei modelli in esame. Questi utilizzano una o più equazioni che legano o correlano il numero di incidenti su una certa strada ad alcune caratteristiche della stessa, assunte quali variabili indipendenti (covarianti o variabili di regressione). Queste possono essere costituite, per esempio, dal flusso di traffico, dalla lunghezza della sede stradale interessata dal cantiere, dal numero di corsie o dalla larghezza delle banchine. Il metodo segue due passi fondamentali: il primo è costituito dalla scelta della forma del modello,

rappresentato dall'equazione, il secondo dalla stima dei parametri. I due passi sono generalmente ripetuti varie volte, per perfezionare il modello ad ogni tentativo successivo. La base di questi metodi di regressione multivariabili è l'assunzione che le frequenze degli incidenti siano associate in qualche modo a fattori causali, come poi rappresentato nell'equazione del modello. Sebbene questo metodo sia statisticamente valido, esso richiede una gran quantità di dati che, come già detto, non sono sempre disponibili. Un altro inconveniente è che i risultati del modello potrebbero essere di valenza fortemente localizzata, e quindi difficilmente estrapolabili. È soprattutto per queste ragioni che i metodi di regressione multivariabili sono considerati non adatti al caso dei cantieri: anche se fosse possibile la regressione, l'impegno della raccolta dei dati, la ricerca di informazioni adeguate per le variabili di regressione e così via, non sarebbe economicamente accettabile, in parte perché i risultati potrebbero essere falsati dalla scarsa qualità generale dei dati, in secondo luogo perché potrebbero contenere effetti così localizzati da non poter essere generalizzati.

- **Inferenze statistiche:** un terzo gruppo di metodi rientra nell'area delle inferenze statistiche, che consistono, fondamentalmente, nel trarre conclusioni su certe proprietà di una variabile casuale basandosi su un campione casuale di osservazioni di questa variabile. Dato un insieme di variabili con una certa funzione di distribuzione della probabilità, un modo di fare inferenze sulla distribuzione usando le osservazioni è quello di ricondursi ad alcuni suoi parametri, per esempio media e varianza. Esistono diversi metodi per studiare parametri fissi: il metodo dei momenti e la stima della massima probabilità sono fra i più noti. Questi, però, forniscono appunto la stima di alcuni parametri sconosciuti, ma fissi, di una distribuzione. Per esempio, dato un numero n_i di incidenti in un certo periodo in un punto i , e conoscendo esattamente l'esposizione al rischio M_i della popolazione nello stesso periodo di tempo, l'estimatore della massima probabilità del tasso di incidentalità è rappresentato dal valore $\lambda_i = n_i / M_i$. Per ogni sezione i della strada, l'esposizione M è data da $M_i = D * TGM * L * 10^{-6}$ dove L è la lunghezza della sezione in analisi, in miglia, D è il periodo di tempo considerato (generalmente 365 gg) e TGM è il traffico giornaliero medio della località, misurato in veicoli al giorno. Il fattore 10^{-6} è una costante di conversione per esprimere M in milioni di veicoli miglia. In questo metodo il sito i sarebbe definito rischioso se il tasso di incidentalità ad esso relativo fosse superiore ad alcuni valori soglia delle medie regionali. In taluni casi, però, l'estimatore λ è scarsamente indicativo del tasso di incidentalità. Dal momento che la varianza dell'estimatore λ_i è inversamente proporzionale alla M_i ,

i siti con basso valore di M_i saranno maggiormente soggetti all'effetto del fenomeno di regressione verso la media. Per diversi anni molti ricercatori, come Hauer (1997) hanno studiato questo problema. Si è trovato che una soluzione alternativa che migliora la capacità di identificare i siti pericolosi con bassi valori di M_i è la tecnica statistica empirica Bayesiana. Basandosi sulla definizione di esposizione M , è evidente che nel caso dei cantieri essa possa differire sostanzialmente dall'esposizione generale di una data strada, dal momento che sia D , sia L possono essere più piccoli o più grandi di quelli considerati quando si analizza una sezione di una strada. Secondo quanto fin qui detto, questa variazione di esposizione tenderà ad incrementare o decrementare in maniera abnorme il valore del tasso di incidentalità, introducendo, quindi, una deviazione dovuta al fenomeno di regressione verso la media. In tal caso il metodo della massima probabilità produrrebbe un estimatore inappropriato, e dovrebbe essere usato un estimatore Bayesiano.

- **Metodo Bayesiano:** in generale questo metodo assume che il parametro incognito della funzione di distribuzione delle probabilità è esso stesso una variabile casuale. Fondamentalmente la distribuzione scelta per questo parametro rifletterà il livello di conoscenza che si ha dello stesso. Per stimare il valore del parametro con la tecnica Bayesiana, si assume una distribuzione iniziale di γ detta $g(\gamma)$, che rappresenta la conoscenza primitiva del parametro, contrapposta ad una funzione di distribuzione posteriore di γ , che comprende l'evoluzione del livello di conoscenza dovuto alla considerazione del campione, e la cui media è detta proprio stima bayesiana di γ .
- **Valutazione della sicurezza basata sugli strumenti dell'analisi del rischio:** da un'analisi della letteratura in merito, l'analisi di incidentalità relativa a tratti stradali interessati dai cantieri, condotta con i precedenti approcci di tipo tradizionale, non si è mostrata efficace, per cui si è rivelata necessaria una tecnica innovativa. La sicurezza stradale può anche essere valutata (Gunnarson) (10) in termini di accettabilità del rischio legato al verificarsi di incidenti: una strada è giudicata sicura se il rischio è considerato accettabile. Un incidente è definito come un evento indesiderabile ed improvviso che può produrre perdite umane e materiali, oltre a causare impatti negativi sulla sicurezza stradale che spesso si traducono in incidenti secondari. Il rischio è definito come il valore atteso della frequenza di effetti indesiderabili risultanti da una certa esposizione. Per esempio il rischio può corrispondere alla probabilità che una variabile x soddisfi la condizione $x > X_1$, dove X_1 è un valore critico di soglia. In tal caso il rischio è fornito dall'integrale $\int P(x)dx$ dove $P(x)$ è la funzione di distribuzione della

probabilità. L'analisi del rischio basata su tecniche di simulazione sta diventando sempre più importante. Il metodo Monte Carlo, ad esempio, si rivela uno strumento particolarmente utile e flessibile per l'analisi di situazioni, come il caso dei cantieri, che non risultano gestibili agevolmente con tecniche sperimentali o approcci analitici, per la difficile o troppo onerosa acquisizione dei dati sperimentali e per la conseguente necessità di dati simulati. La scelta del metodo Monte Carlo, fra tutti i metodi di simulazione, dipende fondamentalmente dal fatto che esso consente di trattare gli incidenti basandosi su osservazioni indipendenti. Lo strumento informatico usato per l'implementazione del metodo è il MATLAB®, che è un sistema interattivo i cui dati di base non richiedono dimensionamento, per cui consente di risolvere problemi tecnici di calcolo in modo molto più efficiente e veloce di quanto non consentirebbe un programma scritto in un linguaggio scalare non interattivo, come il C o il FORTRAN. Per l'analisi, l'equazione scelta è estremamente semplice: il tasso di incidentalità atteso, espresso in incidenti per milioni di veicoli miglia del cantiere i è:

$$\lambda_i = (n_i * 10^6) / (D_i * TGM_i * L_i) \quad [1]$$

dove n_i rappresenta il numero di incidenti occorsi (o attesi) nella zona i , D rappresenta la durata del progetto di costruzione o riabilitazione in giorni, TGM è il traffico giornaliero medio del tratto interessato dal cantiere in veicoli per giorno, L la lunghezza in miglia. Si fa notare che alcuni altri fattori relativi al cantiere, come i dispositivi di gestione del traffico, i dispositivi di sicurezza, le velocità di circolazione, ecc., così come altri fattori fra i quali le condizioni di visibilità o le condizioni atmosferiche, non rientrano nel modello, in quanto non ci sono dati sufficienti per stabilire relazioni efficaci fra il tasso di incidentalità λ e quei fattori. Il vantaggio principale dell'equazione [1] (Wang e altri) consiste nell'accuratezza della descrizione dell'esposizione al rischio per differenti tipi di cantieri e per la sua efficacia nel confrontare gli incidenti che caratterizzano le zone interessate dai cantieri e quelle non interessate dagli stessi.

1.2.5 FATTORI DI INCIDENTALITÀ

Dagli studi esaminati emerge che l'incremento del tasso di incidentalità può essere attribuito a una molteplicità di situazioni, fra le quali:

- uso improprio dei dispositivi di controllo del traffico;
- inadeguata gestione del traffico;
- interferenza sul traffico causata dalle discontinuità dovute alle corsie interrotte;

- manovre improprie sui tratti di confluenza;
- presenza di mezzi d'opera nell'area del cantiere;
- inadeguata progettazione globale del cantiere (22).

È necessaria, quindi, una corretta valutazione dei problemi legati alla presenza dei cantieri per assicurare adeguati standard di sicurezza alla circolazione stradale.

Le variabili identificate quali **fattori potenziali di incidentalità** in corrispondenza dei cantieri comprendono:

- l'impianto del cantiere per l'esecuzione dei lavori;
- il tipo di strada (urbana principale/locale; extraurbana primaria/secondaria; a carreggiata unica o doppia);
- l'interazione fra cantiere e strada (restringimento di corsia; chiusura di corsia; deviazione; controflusso; traffico unidirezionale alternato; cantiere sulla banchina o sul margine della sede stradale; cantiere disposto centralmente; cantiere sulla pista ciclabile o su percorso pedonale; cantiere posto sulla corsia riservata ai tram);
- l'ammontare dell'appalto (correlato alla durata e all'importanza del lavoro);
- le condizioni di traffico;
- il traffico giornaliero medio;
- la percentuale di veicoli pesanti;
- la presenza di svincoli in prossimità del cantiere;
- la sezione del cantiere (tratto di approccio; zona di transizione; parte centrale della zona lavori; sezione successiva);
- la lunghezza del cantiere;
- la durata dei lavori (cantiere a lungo termine; a breve termine stazionario; a breve termine mobile);
- il tipo di lavori;
- la direzione di percorrenza;
- la gestione del traffico;
- la strategia adottata per la chiusura della corsia interessata dai lavori;
- le condizioni ambientali;
- il momento della giornata;
- le condizioni di illuminazione;
- le condizioni della superficie stradale;
- il comportamento dell'utente.

Molti studi hanno analizzato la correlazione esistente fra il tasso di incidentalità e

la *lunghezza*, la *durata* e il *traffico* caratterizzanti il cantiere. Conoscere approfonditamente l'incidenza di tali fattori sul livello di rischio di una strada interessata da lavori, consente alla società di gestione di intraprendere una più efficace attività di prevenzione. Si potrebbe, ad esempio, controllare il parametro lunghezza del cantiere parzializzando l'attività in più fasi operative e, ancora, informare l'utenza dell'esistenza del cantiere così da ridurre il traffico sull'arteria. Per interventi su autostrade di intenso utilizzo le attività e le restrizioni della sede viabile andrebbero limitate ai periodi di traffico ridotto (9).

Alcuni studi (4) prendono in esame dati incidentali di tratti autostradali, relativi al periodo precedente e contemporaneo all'insediamento di un cantiere (escludendo i dati successivi alla fine dei lavori in quanto spesso l'attività di manutenzione o di costruzione altera significativamente le caratteristiche della strada) e mirano a correlare il fenomeno incidentale, caratterizzato da una certa gravità, agli elementi del cantiere rappresentati da: *durata*, *lunghezza*, *traffico* e *localizzazione*. I dati utilizzati sono ottenuti dall'Highway Safety Information System (HSIS), un'enorme banca dati sviluppata e aggiornata dalla Federal Highway Administration (FHWA). Essa contiene, fra l'altro, informazioni su 36 progetti stradali attivati in California nel 1993: dall'allocazione del cantiere, alla sua dimensione e durata, al numero di incidenti accaduti prima e durante l'esecuzione dei lavori, al traffico (TGM). Quest'ultimo, probabilmente ridotto per le limitazioni alla capacità della strada indotte dal cantiere, viene assunto costante e pari al valore rilevato prima dell'inizio dei lavori; tale ipotesi è necessaria ai ricercatori per l'indisponibilità di dati più precisi.

- E' risultato che l'incidentalità autostradale su tratti interessati da cantieri è maggiore laddove è più elevato il TGM, più lunga è la durata dei lavori, più ampia è l'estensione dell'area interessata dai lavori. Si può constatare che una minore durata del cantiere comporta una riduzione, in generale di tutti gli incidenti, e più marcata di quelli che non causano feriti (4).

Si segnala uno studio (2) che sviluppa un modello di regressione per la previsione del numero di incidenti nelle sezioni di approccio al cantiere ed in quelle in corrispondenza dello stesso, basato su 3 categorie di dati:

1. **caratteristiche del cantiere** (dati forniti dall'INDOT: Indiana Department of Transportation, relativi a 393 cantieri installati fra il 1993 e il 1997): *codice identificativo dell'autostrada*; *localizzazione* del cantiere con indicazione delle progressive dei punti iniziale e finale; *costo del progetto*; codice identificativo del *tipo di lavorazione* (riabilitazione della strada, rifacimento del manto stradale o altro tipo di lavoro stradale; riabilitazione o riparazione di ponti; lavori di sostituzione

degli appoggi; manutenzione dei margini o delle scarpate; manutenzione della segnaletica; lavori di scambio; altro tipo); *durata* del cantiere; *lunghezza* dello stesso;

2. **caratteristiche dell'incidente** (dati forniti dall'INDOT, relativi a 5025 incidenti avvenuti tra il 1993 e il 1997 correlati alla presenza dei cantieri, secondo i rapporti della polizia): *identificativo dell'interstato; esatta localizzazione dell'incidente; momento del giorno, giorno della settimana, mese ed anno dell'incidente; numero di feriti, di morti; numero di veicoli coinvolti; tipo di collisione; condizioni del tempo e dell'illuminazione; condizioni della strada; altre informazioni sul guidatore e sulla strada;*
3. **caratteristiche della strada e del traffico:** *numero delle rampe di accesso e di uscita all'interno dell'area del cantiere* (giudicato importante per lo studio, per l'influenza sul traffico: per esempio, una rampa di uscita prossima al cantiere può incoraggiare i guidatori ad evitare il tratto di autostrada congestionato, mentre rampe a distanza superiore a 10 miglia risultano non avere effetto sul traffico); *numero delle rampe nella zona di approccio a distanza inferiore a 2 miglia dall'inizio del cantiere; numero delle rampe nella zona di approccio entro una distanza compresa fra le 2 e le 10 miglia dall'inizio del cantiere; traffico giornaliero medio; percentuale di veicoli pesanti.*

Da un'analisi dei fattori è risultato che:

- i **volumi di traffico** sono risultati un fattore primario nell'influenzare il numero di incidenti durante i lavori di costruzione della strada. Il parametro di regressione associato al volume è positivo e di valore molto simile per le zone interna e di approccio al cantiere: essendo molto prossimo all'unità, denota una relazione quasi lineare tra volumi di traffico e numero di incidenti.
- La **lunghezza del cantiere** è risultata un fattore di rilievo in tutti i casi di incidenti interni alla zona dei lavori, con un valore anch'esso prossimo all'unità e, a differenza da quanto si aspettavano i ricercatori, si è rivelata statisticamente molto significativa anche per le zone di approccio allo stesso. Si è trovato che i cantieri meno estesi presentavano un maggior numero di incidenti nella zona di approccio rispetto a quelli con lunghezza maggiore, da cui si è dedotto che il fattore lunghezza potesse essere rappresentativo di altri fattori non inclusi nel modello, come la gestione del traffico, elemento, questo, più curato nei cantieri più lunghi, probabilmente per il loro maggior impegno di tempo.
- La **durata** del cantiere si è rivelata influente in tutti i casi con un valore pari a circa 0.6, significativo di una crescita non lineare del numero di incidenti con la durata dei lavori, per l'instaurarsi di un fenomeno di familiarità nell'utente abituale della strada, crescente all'aumentare della durata del cantiere, con

conseguente riduzione, nel tempo, del numero di incidenti.

- **L'effetto delle rampe** si è rivelato insignificante sia nei tratti interni che in quelli di approccio al cantiere, probabilmente a causa di un'efficace gestione del traffico all'intersezione delle stesse con l'autostrada durante il periodo dei lavori.
- Il **tipo di lavori** non si è rivelato significativo nelle zone di approccio, a differenza di quanto ipotizzato, ma si è mostrato molto influente all'interno del cantiere, dove i veicoli risentono effettivamente della presenza delle attrezzature e del personale addetto ai lavori.
- **L'intensità del lavoro** rappresentata da $(\text{Costo})/(\text{Durata} * \text{Lunghezza})$, si è rivelata significativa solo per gli incidenti all'interno del cantiere, mostrando, così, che i cantieri poco estesi, ma contraddistinti da un costo elevato, sono i più pericolosi.

Parecchi studi hanno poi esaminato i fattori causali o comunque gli elementi correlati agli incidenti nei cantieri, facendo riferimento, però, ai rapporti poco dettagliati della polizia. I fattori predominanti individuati in tali studi sono rappresentati dall'*incapacità di guidare all'interno di un'unica corsia, di ridurre la velocità, di seguire una designata corsia* (21).

Un ulteriore studio analizza *l'influenza delle rampe di accesso* sui cantieri di lunga durata (24).

Per quanto riguarda l'influenza sul tasso di incidentalità della *strategia utilizzata per la chiusura della corsia interessata dai lavori*, si segnala uno studio (31) condotto in Indiana, che analizza gli effetti dei due sistemi più comunemente usati sulla rete autostradale interstatale: la chiusura parziale della carreggiata e il crossover. Quest'ultimo prevede la chiusura di tutte le corsie in una direzione e la deviazione della relativa corrente di traffico sulla carreggiata opposta, che diventa bidirezionale. In Indiana sono generalmente utilizzati dei divisori bituminosi per separare le correnti di traffico opposte, per cui i guidatori si trovano a fronteggiare il traffico controcorrente senza la protezione di un'apposita barriera: in presenza di traffico sostenuto, di notte o in condizioni meteorologiche avverse, questa situazione può creare problemi di sicurezza. D'altro canto, con il sistema della chiusura parziale, una o più corsie vengono chiuse in una o in entrambe le direzioni, ma non tutte le corsie in una direzione sono chiuse contemporaneamente; adottando questa strategia, il traffico è mantenuto molto vicino alle attrezzature del cantiere ed al personale addetto ai lavori, con evidente pericolo.

I dati utilizzati in questo studio, forniti dalla Polizia di Stato dell'Indiana, sono

relativi a cantieri di rifacimento del manto stradale, ripristino delle condizioni originarie, riabilitazione e ricostruzione (4R), divisi in segmenti caratterizzati da volumi equivalenti di traffico. Gli incidenti sono stati classificati in tre categorie: con decessi; con feriti; con danni materiali. I dati di traffico sono risultati disponibili solo per il 1987, il 1990 e il 1992 mentre si sono ricavati i volumi di traffico giornalieri medi per tutti gli altri anni dalla loro interpolazione. L'ipotesi avanzata dai ricercatori era che si dovesse verificare un maggior numero di incidenti in corrispondenza della scelta del crossover, rispetto all'altra strategia. Per verificare l'ipotesi è stata adottata la metodologia di studio del tipo before-after, che ha evidenziato, però, differenze poco significative, non essendo i dati sufficienti a confermare l'ipotesi. Per valutare gli effetti sulla sicurezza della scelta di future strategie di chiusura sono poi stati sviluppati modelli di regressione che hanno condotto a coefficienti di regressione statisticamente significativi e fisicamente interpretabili, ma scarsamente predittivi, essendo fondati su dati insufficienti.

In merito alla selezione della migliore strategia di chiusura delle corsie, che valuta sia l'impatto della chiusura totale della strada (uso del crossover e dunque di un doppio senso su un'unica carreggiata), sia quello provocato dalla chiusura parziale delle corsie, si può citare uno studio (32) realizzato dall'INDOT (Indiana Department Of Transportation) basato su un modello che adotta come parametri: *la lunghezza del cantiere; il volume di traffico; la durata del cantiere; il costo stimato del progetto.*

La procedura sviluppata, di natura sistematica, semplice da usare e adatta alle esigenze delle amministrazioni stradali, consente, una volta assegnati i valori ai parametri suddetti, di selezionare la strategia di chiusura più appropriata e di stimare, inoltre:

- i tempi di percorrenza degli utenti;
- i costi dei veicoli operativi;
- i costi per il controllo del traffico;
- il numero di incidenti.

In relazione al **momento della giornata**:

- sembra che, in proporzione, gli incidenti nei cantieri nottetempo diminuiscano (autostrade del Regno Unito; Ohio), anche se uno studio americano riporta un incremento del numero di incidenti notturni ed un aumento di severità;
- gli incidenti occorsi ai lavoratori sono più numerosi fra le 13.00 e le 15.00 (U.S.) e il tasso di incidentalità è più elevato fra le 6.00 e le 19.00 (autostrade del Regno Unito) (34).

Riguardo al **comportamento dell'utente**:

- si è trovato che l'errore umano (U.S.) e la perdita di controllo (U.K.) sono meno correlati agli incidenti nei cantieri che durante il normale esercizio della strada, tuttavia, le distanze troppo ravvicinate dei veicoli e il cambiamento di corsia repentino sono causa di incidenti (U.S.) (34).

Uno studio condotto per un periodo di tre anni su cantieri autostradali nel New Mexico ha evidenziato che esistono alcune caratteristiche tipiche degli incidenti ad essi legati, ha escluso l'influenza di condizioni meteorologiche avverse sugli incidenti in zona lavori ed ha ribadito che dispositivi di controllo appositi possono ridurre il numero di incidenti e forse influenzare il tipo di collisione (23).

1.2.6 GESTIONE DELLE VELOCITA'

Molti studi hanno trattato il problema della velocità e del cambio corsia, evidenziando che i guidatori mantengono velocità sostenute in corrispondenza dei cantieri e che fanno maggiore attenzione in corrispondenza dei crossover piuttosto che in zona lavori, pur mantenendo sempre una velocità troppo elevata. In più, dalle ricerche emerge che le misure atte ad incoraggiare i guidatori a rallentare, devono essere proposte prima che essi entrino nell'area di transizione (34).

Si è riscontrato, poi, che la riduzione del numero o della larghezza delle corsie non solo comporta problemi di congestione e di formazione di code (specialmente per le strade con alto volume di traffico) ma produce anche un aumento della probabilità di incidenti, in quanto la confluenza delle correnti di traffico costituisce un punto di potenziale conflitto (37).

Pur prestando estrema attenzione alla selezione e all'applicazione di opportune misure per l'allertamento, l'informazione e la guida degli utenti della strada in corrispondenza del cantiere, risulta necessario supportare dette misure con regolamenti specifici, come nel caso di ricorso al senso unico alternato, per condizionare opportunamente il comportamento dei guidatori. Tipicamente tali regolamenti concernono limiti di velocità e divieto di sorpasso. Esistono diverse ragioni per le quali i limiti di velocità in prossimità dei cantieri dovrebbero essere inferiori a quelli della viabilità normale.

I fattori principali da considerare nella determinazione di limiti di velocità appropriati sono:

- Adeguamento ai particolari standard stradali nei pressi dei cantieri: restringimenti di corsia, deviazioni, riduzione dei margini o altre modifiche comuni alla geometria autostradale che necessitino di riduzioni di velocità;
- Protezione degli addetti ai lavori;
- Formazione di code: sulle autostrade e sulle arterie caratterizzate da traffico intenso, la chiusura delle corsie potrebbe comportare la formazione di code, aumentando la probabilità di tamponamenti causati dal sopraggiungere dei veicoli non adeguatamente informati sulla velocità da tenere. I limiti di velocità dovrebbero essere realistici, ragionevoli, adeguati alla specifica realtà, imposti su tratti di lunghezza non eccessiva e segnalati con adeguato margine di preavviso. Una raccomandazione tecnica è quella di utilizzare segnalazioni successive opportunamente graduate ad intervalli non superiori ai 20 km/h;
- Presenza di un opportuno sistema di controllo e di sanzione applicato dalla polizia stradale in maniera diretta (individuazione e punizione del trasgressore) e/o in maniera indiretta (con l'ausilio di fotocamere).

1.2.6.1 Procedura per determinare i limiti di velocità in un cantiere stradale

Il *Manual on uniform traffic control devices for streets and highways* (MTCDD) (65) indica una metodologia per determinare il limite di velocità sulle strade in normali condizioni di viabilità; non vi sono suggerimenti analoghi in caso di presenza di cantieri sulla strada. Tale esigenza ha motivato due studi del *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) (66) per lo sviluppo e la verifica d'implementabilità di una procedura uniforme della valutazione nei cantieri autostradali. Le ricerche precedenti (67-70) avevano riscontrato che al crescere della varianza delle velocità corrisponde una percentuale più elevata di veicoli con velocità sensibilmente al di sopra o al di sotto del valore medio ed un incremento del numero degli incidenti.

Il primo studio del NCHRC ha analizzato i dati di incidentalità precedenti e successivi all'installazione di un cantiere e i dati di velocità a monte ed all'interno del cantiere stesso. Si è rilevato che:

- la crescita percentuale della varianza delle velocità fra monte ed interno del cantiere assume un punto di minimo (34,1%) in corrispondenza di una riduzione di 16 Km/h (10 mph) del limite di velocità;
- per un'uguale riduzione del limite di velocità la crescita percentuale (l'aliquota incidentale nei cantieri è generalmente più elevata rispetto alle condizioni ordinarie di

viabilità) del numero degli incidenti gravi assume un valore minimo.

È stata successivamente elaborata una procedura che fornisce i limiti di velocità più opportuni in funzione delle caratteristiche tecniche del cantiere e dei potenziali pericoli presenti. La stessa si articola in quattro fasi:

- a. determinare i limiti di velocità esistenti prima dell'inizio dei lavori;
- b. determinare quanto le attività di cantiere invadano la sede stradale;
- c. determinare quali fattori sono presenti nello specifico cantiere: particolari caratteristiche di geometria e di visibilità, operatori in zone non protette da barriere, ubicazione dei dispositivi di controllo del traffico, ecc.
- d. valutare il limite di velocità del cantiere in base ai dati ricavati nelle precedenti tre fasi; la massima riduzione di velocità raccomandata è di 16Km/h.

Nel secondo studio, NCHRC ha implementato e validato detta procedura: l'applicazione diretta ha, infatti, fornito valori più uniformi delle velocità (l'incremento della varianza delle velocità fra monte ed interno del cantiere per una riduzione di 16 km/h del limite di velocità risulta pari al 10%) e pertanto la metodologia in questione determina un miglioramento della sicurezza della circolazione(71-72).

1.2.7 LE MISURE DI SICUREZZA

Le misure di sicurezza adoperate per ridurre la frequenza e la severità degli incidenti presso i cantieri stradali includono un'ampia varietà di dispositivi e di tecniche. Sono state definite quattro categorie principali di misure di sicurezza elencate di seguito:

- **progettazione delle aree del cantiere:** per ridurre la turbativa indotta dalla presenza del cantiere sulla normale viabilità, vengono definiti con esattezza i limiti del cantiere;
- **dispositivi di controllo del traffico:** per informare, allertare e disciplinare i conducenti guidandoli nella scelta della velocità e della traiettoria da mantenere. Si adoperano i seguenti dispositivi: segnaletica stradale, apparecchiature luminose e canalizzatori di traffico;
- **equipaggiamento stradale:** può essere distinto in tre categorie a seconda della funzione esplicata:
 - allertamento/informazione;

- chiusura / guida;
- protezione.

Le prime due sono usate per la delimitazione del cantiere e per il controllo del traffico; un dispositivo può avere anche più funzioni;

- **altre:** comprendono le seguenti tecniche o dispositivi:

correntemente usati

- vestiario ad alta visibilità (fluorescente) per i lavoratori;
- bandiere e dispositivi di segnalazione manuale;
- attenuatori di impatto (TMAs);
- informazioni via radio sul traffico;
- veicoli d'emergenza;

innovativi

- pannelli a messaggio variabile.

Per ottenere dai conducenti il comportamento desiderato occorre che gli interventi proposti per garantire la sicurezza nei cantieri stradali rispondano alle seguenti esigenze:

- **accuratezza:** le misure di sicurezza dovrebbero seguire l'evoluzione dei lavori nel tempo e nello spazio ed essere rimosse quando e dove non sono più necessarie; devono fornire, in maniera credibile, tutte le informazioni indispensabili e importanti evitando comunicazioni contrastanti;
- **adeguatezza rispetto agli spazi e ai tempi:** i dispositivi di sicurezza andrebbero collocati in sequenza opportunamente distanziati affinché gli utenti della strada possano percepire i messaggi, decidere e reagire. La distanza richiesta tra successivi punti dipende dalla velocità e dalla tipologia della strada: più è elevata la velocità media meno densa sarà la suddivisione dei messaggi. La segnalazione della presenza dei lavori dovrebbe essere data con netto anticipo e dovrà informare l'utente su cosa lo attende (in tempi e distanze); la stessa andrà ripetuta lungo il cantiere. I mass-media diffonderanno accuratamente le notizie utili ai possibili utenti;
- **percettibilità e leggibilità:** il progetto del cantiere stradale dovrebbe rendere ovvia l'interazione con gli operatori e gli altri utenti. Le misure di sicurezza dovrebbero essere facilmente distinguibili e visibili, in modo che i conducenti agiscano nella maniera desiderata e in conformità con le informazioni trasmesse;
- **comprensibilità:** le misure di sicurezza dovrebbero rendere l'utente consapevole su da farsi. Visto il crescente traffico internazionale sulle strade europee e tenendo conto dei possibili problemi legati alla lingua, i messaggi

informativi non verbali sono preferibili ai testi;

- **garanzia per l'azione di richiamo:** siccome la guida per i conducenti con esperienza è un comportamento automatico è importante che l'approccio al cantiere sia progettato così che gli utenti siano avvertiti dell'approssimarsi di una sezione stradale richiedente una maggiore attività di guida. L'inizio e la fine dei lavori devono essere identificati da elementi di segnaletica appropriati così che i guidatori siano consapevoli di essere chiamati ad un'attenzione estrema e potere adattare di conseguenza il loro comportamento di guida.
- **ragionevolezza:** è essenziale evitare la distrazione ed il sovraccarico mentale degli utenti. Pertanto, le misure di sicurezza non dovrebbero essere eccessive. Un principio fondamentale è quello di adoperare solo il numero strettamente necessario di segnali.

1.2.8 COMPOSIZIONE DELLE AREE DEL CANTIERE

Al fine di modificare correttamente il tracciato stradale e di preparare i conducenti al cambio delle condizioni di guida il cantiere è suddiviso in diversi settori all'interno dei quali sono usati differenti tipi di segnaletica e di equipaggiamento. La lunghezza, la larghezza ed altri elementi di correzione del tracciato stradale, importanti ai fini della sicurezza della circolazione, dipendono dalla categoria della strada e dalla sua geometria. Essi sono disciplinati da linee guida, da regolamenti e da altre norme specifiche per la gestione stradale (33), (37).

Le aree di cantiere individuate e le caratteristiche di ciascuna di esse sono elencate di seguito:

- **Area di segnalazione del pericolo:** nella quale la segnaletica stradale ed altri dispositivi di sicurezza sono installati per allertare i guidatori e prepararli alle nuove condizioni di guida. La lunghezza di quest'area dipende dal tipo di cantiere. Gli altri elementi della strada sono normalmente gli stessi del tracciato prima del cantiere.
- **Area di restringimento:** dove la larghezza o il numero delle corsie potrebbe essere ridotto, e dove tutto o parte del traffico è deviato sull'altra carreggiata.
- **Area di stabilizzazione:** serve a stabilizzare il flusso di traffico.
- **Area di transizione:** dove il traffico cambia posizione o configurazione ancora una volta.
- **Area di *buffer*:** costituisce un margine di sicurezza longitudinale e laterale fra l'area effettiva di lavoro e quella di transito veicolare; in essa non dovrebbero

essere presenti né operatori né materiali né equipaggiamenti.

- **Area di lavoro:** dove il traffico passa all'interno o lungo la zona di attività.
- **Area finale:** dove sono ripristinati il numero e la larghezza delle corsie.
- **Area di fine corsa:** dove le normali condizioni di marcia sono ristabilite.

Sono state definite tre categorie di cantieri, in base alla loro localizzazione e permanenza:

1. **lunga durata:** che impegnano la sede stradale per più di un giorno. Tutti i TDCs e gli elementi di sicurezza sono fissati alla pavimentazione;
2. **stazionari e di breve durata:** la cui allocazione non supera la giornata;
3. **mobili e di breve durata:** la cui ubicazione non è fissa, ma può variare con il procedere dei lavori, o in maniera continua (movimento lento) o per successivi passi (almeno due in una giornata).

Gli effetti che il cantiere autostradale determina sulla sezione trasversale e sui flussi di traffico coinvolti, sono evidenziati nelle seguenti otto circostanze:

sulla via di marcia

1. **restringimento di corsia** – senza riduzione del numero;
2. **chiusura di corsia** (riduzione del numero);
3. **deviazione** - trasferimento di tutta o parte del traffico su un'altra strada;
4. **circolazione nei due sensi di marcia** - trasferimento di tutto o parte del traffico sull'altra carreggiata, occupando corsie normalmente adoperate in senso opposto;
5. **circolazione a doppio senso alternato** – una corsia è adoperata a turno dai flussi veicolari nelle opposte direzioni di marcia;
6. **lavori stradali in corrispondenza di un'intersezione** – essa può essere a raso, sfalsata oppure servita da una rotatoria;

fuori della via di marcia

7. **lavori sulle banchine o sui margini**
8. **lavori al centro strada (barriere)**

1.2.9 DISPOSITIVI DI CONTROLLO DEL TRAFFICO

I dispositivi per il controllo del traffico correntemente usati ricadono nelle categorie seguenti:

- **segnaletica stradale di tipo standard (permanente/non permanente)**
 - informa anticipatamente i guidatori sulle diverse caratteristiche geometriche

assunte dalla strada per effetto del cantiere (p.e. della chiusura di corsie, di possibili deviazioni, ecc.);

- informa gli utenti circa le regole da rispettare per l'attraversamento del cantiere in condizioni di sicurezza (p.e. limiti di velocità, transito di veicoli di lavoro, priorità particolari, ecc.).

L'attuale situazione della segnaletica stradale adoperata nei cantieri non è affatto soddisfacente dal punto di vista della compatibilità tra i diversi paesi europei, in quanto ciascuno di essi fa riferimento a standard diversi. È stata condotta un'analisi sulla segnaletica stradale standard usata nei cantieri di tutta Europa prendendo in considerazione i seguenti parametri:

1. i colori dello sfondo;
2. le tipologie dei materiali retroriflettenti adoperati per la superficie anteriore dei cartelli;
3. le tipologie dei materiali costituenti la struttura dei segnali;
4. i supporti dei segnali adoperati.

È stato rilevato che nella maggior parte dei paesi non esiste un colore di sfondo tipico per la segnaletica di cantiere. In particolare, in Italia e nel Regno Unito è utilizzato il giallo; colore adoperato anche in Svezia solo per alcuni segnali specifici; la Germania, l'Olanda e la Slovenia adottano principalmente sfondi a strisce rosse e bianche e solo raramente il colore giallo; gli USA, invece, usano l'arancione. Il primo sforzo per la standardizzazione a livello europeo della segnaletica per i cantieri è stato intrapreso dal Trans-European Motorway (TEM). Tale organismo suggerisce come standard autostradale il giallo o il bianco (quest'ultimo nell'eventualità in cui il giallo costituisca già lo sfondo interno del segnale adoperato). Per quanto riguarda le specifiche nazionali per la superficie dei segnali di cantiere, è prescritto ovunque l'utilizzo di materiali retroriflettenti generalmente di Tipo I, eccezionalmente di Tipo II (quest'ultimo, ad alta intensità è obbligatorio in Olanda e in Svezia). Il materiale attualmente adoperato per la struttura dei segnali è l'alluminio, mentre si sta sperimentando l'uso del PVC che, a parità di efficacia, risulterebbe più economico. I supporti per la segnaletica di cantiere sono di tipo non permanente nel caso di cantieri di breve durata, e permanente nei cantieri di lunga durata.

- **Segnaletica stradale di alta qualità (permanenti/non permanenti)**

Differisce dalla precedente solo per il diverso materiale retroriflettente che aderisce sulla parte frontale del segnale stradale. Diversi paesi dell'Europa

occidentale già ne fanno un largo uso attenendosi alle linee guida fornite dai ministeri nazionali. Tali materiali, chiamati di Tipo III o Tipo C, offrono, approssimativamente, una retroriflettenza tre volte più elevata del Tipo II (alta intensità); la segnaletica siffatta è identica a quella ordinaria ma viene usata soltanto per esigenze di sicurezza, quando risulti necessario un elevato apporto da parte dei TCDs a causa di caratteristiche geometriche sfavorevoli, di condizioni climatiche avverse, di condizioni di guida monotone, ecc.

- **Segnaletica stradale abbinata all'uso di lampeggianti**

Identica alle precedenti, ha la particolarità di fornire un chiaro messaggio di pericolo imminente; si distingue proprio per l'abbinamento con i lampeggianti che evidenziano l'ostacolo del cantiere stradale e le sue caratteristiche specifiche. Il loro utilizzo è limitato alle situazioni fortemente penalizzanti di cui al punto precedente. I lampeggianti hanno usualmente colore giallo e frequenza di pulsazione unitaria.

- **Segnaletica orizzontale**

Costituisce il necessario complemento alla segnaletica verticale. Essa svolge la funzione di indicare ai conducenti le regole cui attenersi per attraversare il cantiere in condizioni di sicurezza (individuando, ad esempio, il percorso che il veicolo deve seguire nell'area interessata dai lavori). Anche per la segnaletica orizzontale di cantiere non esiste una standardizzazione a livello europeo che è, invece, auspicabile. Un'analisi condotta sulla segnaletica orizzontale europea ha preso in considerazione i seguenti parametri:

1. i colori adoperati;
2. le tipologie dei materiali impiegati.

Per il colore sono stati rilevati diversi standard: il giallo in Italia, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Lussemburgo, Olanda, Norvegia, Portogallo e Spagna; l'arancione in Austria, Belgio, Svezia e Svizzera e il bianco nel Regno Unito, dove il nero svolge la funzione di copertura della segnaletica permanente. I materiali sono gli stessi della segnaletica permanente e consentono di identificare le seguenti due classi di segnali:

1. segnalazioni dipinte;
2. segnalazioni realizzate con nastro autoadesivo (di tipo plastico a freddo o a caldo).

Entrambe offrono un alto valore riflettente; il vantaggio di impiegare nei cantieri

stradali i secondi anziché i primi deriva dalla loro facile rimozione che non lascia tracce residue sulla strada le quali potrebbero originare incertezze nei conducenti una volta completati i lavori.

I dispositivi di controllo del traffico comprendono:

- semafori portatili;
- occhi di gatto;
- cartelli direzionali;
- segnaletica orizzontale;
- segnaletica verticale specifica;
- pannelli a messaggio variabile

1.2.10 EQUIPAGGIAMENTO STRADALE

Sono elencati di seguito i dispositivi correntemente adottati, distinti per la principale funzione da essi svolta in prossimità di un cantiere stradale:

equipaggiamento di interruzione

- Coni;
- Barriere normali;
- Paletti di delimitazione;
- Veicoli di segnalazione;

equipaggiamento di allertamento

- Luci fisse o intermittenti;
- Barriere direzionali con luci;
- Barriere normali con luci di avvertimento;
- Frece luminose;
- Presegnali di cantiere;
- Nastro bianco-rosso;

equipaggiamento di direzione

- Delineatori flessibili corti e lunghi;
- Barriere direzionali;
- Paletti di delimitazione corti;
- Barriere rosse e bianche in plastica da riempire con sabbia o acqua;

equipaggiamento di protezione

- Barriere di recinzione;
- Barriere di sicurezza;
- Contact ledge for the blind;

equipaggiamento di sostegno

- Basi di appoggio;
- Paline;
- Sostegni;

catarifrangenti

attenuatori di impatto

- TMA

limitatori di velocità

- Dossi artificiali

Gli sviluppi tecnologici nel campo dei nuovi materiali, dell'illuminotecnica, dell'elettronica e dell'informatica (IT) forniscono nuove soluzioni nel campo della progettazione dei cantieri e nel controllo del traffico che interessa tali aree.

In tale ambito si individuano i seguenti sistemi:

- two signs in one;
- Luci UV;
- Dispositivi di supervisione;
- Cart for fold-up cassette signs;
- Emergency cart;
- Crash net-vehicle sustaining barrier;
- Attenuatori di impatto;
- Crash barriers (barriere d'urto);
- Rumble strips portatili;
- Warning tent.
-

altri

- bandiere e dispositivi di segnalazione manuale;
- portali di delimitazione altezza;
- TMA;
- informazioni via radio sul traffico;
- veicoli d'emergenza;
- vestiario ad alta visibilità.

1.2.11 EFFETTI DELLE MISURE DI SICUREZZA

Non sono stati trovati studi che correlano la sistemazione della sede stradale al

comportamento dell'utente, mentre esistono studi relativi ad altre misure di sicurezza quali: segnaletica; dispositivi di delimitazione; dispositivi di guida ed infine, "campaigns".

Risulta che i guidatori modificano la velocità nei cantieri in dipendenza della segnaletica di informazione/avvertimento presente. Per quanto riguarda i dispositivi di delimitazione, risulta che sulle autostrade e sulle strade extraurbane primarie le "steady burns lights" hanno uno scarso effetto sul comportamento del guidatore e sono sostituite da rivestimenti in materiale altamente riflettente. D'altra parte, sono risultati efficaci i "raised pavement markings" posti in prossimità del cantiere, per l'importante funzione di guida da essi svolta. Per i dispositivi di guida si segnalano le luci intermittenti, che danno un'illusione di movimento e che, da simulazioni svolte, risultano avere una forte influenza sulla velocità, al variare della combinazione di colore, direzione e velocità della pulsazione.

Molti autori suggeriscono una standardizzazione dei cantieri per quanto riguarda i sistemi di guida del traffico, l'allineamento e la larghezza delle corsie temporanee nonché dei dispositivi di guida, per risolvere il problema della sicurezza nei cantieri, tuttavia l'uniformità così ottenuta potrebbe essere controproducente, dando una sensazione di familiarità e di falsa sicurezza ai guidatori e riducendone l'attenzione verso situazioni pericolose che improvvisamente potrebbero verificarsi. Riguardo ai dispositivi di limitazione della velocità, la localizzazione degli stessi dovrebbe essere scelta con molta attenzione: i segnali con limiti di velocità, i pannelli a messaggio variabile, i sistemi per il restringimento della corsia e altre misure usate per far rallentare il guidatore dovrebbero essere preferibilmente posizionate prima dell'area di transizione (35).

Il controllo del traffico in prossimità dei cantieri stradali è diventato un problema di enorme complessità (59). La costruzione di nuovi tronchi o la manutenzione e il miglioramento di quelli esistenti, unitamente all'esigenza di mantenere il rischio per la sicurezza a livelli compatibili con il normale esercizio viario, potrebbero richiedere l'adozione di numerosi dispositivi di controllo del traffico (TCDs) e di altre specifiche di sicurezza. La congestione che contraddistingue i lavori stradali per la presenza contemporanea di operatori, di macchinari, di veicoli in transito, di TCDs e di elementi per la sicurezza è causa di possibili incidenti. Lo studio basato su crash-testing ha fornito informazioni su come si comportano i TCDs nei cantieri sotto condizioni controllate in laboratorio. Il Dipartimento dei Trasporti dello Stato di New York (NYSDOT) in una ricerca del 1980 (60) (61) ha affermato che i TCDs possono costituire un serio pericolo per gli occupanti dei veicoli e per gli addetti ai lavori in caso di impatto con gli stessi, ma che con un'opportuna progettazione ed

installazione il rischio può essere ridotto. Test più recenti effettuati in Texas (62) hanno fornito identici risultati relativamente ad alcuni tipi di barriere e di segnaletica. Si riscontra, però, che la scarsa qualità dei dati relativi alle caratteristiche ed alle condizioni esistenti al momento dell'incidente (63) è il maggior ostacolo alla valutazione della sicurezza nei cantieri: il coinvolgimento di macchinari, di equipaggiamenti e di lavoratori, e ancora, gli impatti con i TCDs e la presenza di dossi sulla pavimentazione sono informazioni che troppo spesso mancano nelle registrazioni degli incidenti accaduti.

Nel 1988 il NYSDOT ha effettuato uno studio (53) dal quale è emerso che alcuni tipi di zavorre e di dispositivi di segnalazione luminosi, in caso di impatto, si rilevano estremamente pericolosi per il conducente del veicolo interessato e per quelli dei veicoli che sopraggiungono oltre che per gli operai impegnati nel cantiere.

Lo stesso ente, (60) sulla base dei dati incidentali raccolti tra il 1994 ed il 1996 ha esaminato le problematiche connesse agli elementi presenti nell'ambiente autostradale per le esigenze di cantiere; una tale informazione consente, agendo su una più accurata progettazione di questi ultimi, e sull'adozione di un appropriato criterio per il loro posizionamento ed utilizzo, di ridurre la frequenza e la severità degli incidenti ad essi correlati. Una banca dati computerizzata raccoglieva le registrazioni di tutti gli incidenti occorsi nei pressi dell'area interessata dai lavori che avevano causato morti o infortuni con necessità di ricovero in ospedale: proprio l'analisi di questi ultimi ha consentito una valutazione della severità dell'incidente.

Gli elementi presi in considerazione in tale ricerca sono stati:

- Dispositivi di controllo del traffico (TCDs):
 - canalizzazione: coni, cilindri e barriere;
 - segnaletica, supporti e relativi dispositivi;
 - pannelli con freccia a luce lampeggiante;
- Elementi di sicurezza del cantiere
 - attenuatori di impatto (IADs): fissi e montati su camion (TMAs);
 - barriere di sicurezza in calcestruzzo (PCBs);
- Altre caratteristiche del cantiere
 - condizioni della superficie pavimentata: dossi, cunette, detriti, materiale di risulta, giunti irregolari;
 - materiale da costruzione;
 - scavi;
 - veicoli di cantiere, attrezzature ed operai;

Le principali indicazioni emerse sono state:

- I dispositivi di canalizzazione raramente causano infortuni per gli utenti e per i lavoratori;
- I segnali di cantiere hanno comportato la necessità di un ricovero in ospedale;
- La zavorra non opportunamente imbustata è stata causa di incidenti;
- L'errato posizionamento dei TCDs ha determinato sfondamenti di parabrezza e perdite di controllo del veicolo;
- L'inadatta installazione o utilizzo di attenuatori di impatto (TMAs) hanno determinato incidenti gravi per motociclisti e veicoli di grosse dimensioni;
- I PCBs sono responsabili di incidenti con conseguenze mortali, da cui deriva l'importanza di una loro attenta progettazione ed di un uso limitato alla stretta necessità;
- Le caratteristiche della pavimentazione: dossi, cunette, scavi e materiali da costruzione sono responsabili di notevoli incidenti;
- Un sostanziale numero di incidenti coinvolgono macchinari da costruzione, attrezzature ed operai;
- Le intrusioni dei veicoli nel cantiere costituiscono un serio problema per gli operai e per gli utenti della strada, così come la presenza di veicoli di lavoro, attrezzature o personale sulle corsie aperte al traffico;
- Il controllo del traffico in prossimità dei cantieri, deve essere progettato per separare adeguatamente le zone di transito da quelle di lavoro.

1.2.12 MISURE DI SICUREZZA INNOVATIVE

1.2.12.1 *Late Merge*

Il controllo del traffico di tipo convenzionale come quello effettuato in Nebraska (*NDOR Merge*), in corrispondenza della chiusura temporanea di corsie della rete autostradale interstatale per la presenza di cantieri, funziona bene fin quando non si sviluppa la congestione. Infatti, quando la domanda di traffico eccede la capacità della zona lavori le code potrebbero estendersi oltre la zona segnalata (con segnali di avvertimento posti su entrambi i lati della carreggiata a 1609m e a 805m dalla confluenza), sorpendendo spesso il traffico in arrivo e aumentando il rischio di incidenti. La *Late Merge* (42) è una strategia di controllo della confluenza sviluppata dal dipartimento dei trasporti della Pennsylvania che, utilizzando opportuna segnaletica, impone ai guidatori di confluire sulle corsie rimaste aperte solo al termine del tratto di restringimento, riducendo, così, la lunghezza delle code e il

disagio dei guidatori. Le caratteristiche dei flussi di traffico valutate in sito indicano che questa strategia è più efficace del *NDOR Merge* in termini di sicurezza e di efficienza delle operazioni di confluenza prima della chiusura delle corsie sulle autostrade interstatali. La *Late Merge* ha una capacità maggiore e produce minori conflitti sul traffico. Tuttavia si è trovato che questo concetto non funziona bene come potrebbe: basandosi sui dati relativi alla distribuzione del traffico sulle corsie sia in condizioni di normale esercizio sia nei periodi di congestione, si è concluso che alcuni automobilisti non seguono le indicazioni fornite dalle segnalazioni, riducendo così l'efficacia delle operazioni di confluenza. I benefici potenziali della *Late Merge* non si realizzeranno totalmente finché gli utenti della strada, i camionisti in particolare, non assimileranno appieno il concetto.

1.2.12.2 BRA (Biseaux De Rabattements)

La neutralizzazione di una corsia aperta alla circolazione è un'operazione che presenta sempre un certo rischio per il personale addetto ai lavori.

In particolare la chiusura della terza corsia (corsia veloce), in caso di incidenti o di cantieri di breve durata è una manovra che fra l'altro richiede una certa rapidità di intervento.

Per questo motivo, in Francia, sono stati messi a punto dei dispositivi detti BRA (Biseaux De Rabattements), (58) costituiti da braccia di lunghezza variabile (da 1 a 4 m.) che alle loro estremità portano segnali a volte anche luminosi, alloggiati nello spartitraffico fra le due carreggiate.

Quando necessario, possono essere disposti in senso perpendicolare alla strada, realizzando un naturale restringimento della carreggiata verso il lato destro della stessa. La loro messa in opera può avvenire in tre diversi modi:

- Automatica;
- Semi automatica;
- Manuale.

L'impiego di questi dispositivi, da alcune stime dell'ESCOTA (Autoroute Estérel Côte d'Azur) che per prima ha deciso di sperimentarli, comporta un risparmio di tempo dell'ordine del 30-35% per la chiusura della "corsia veloce" rispetto ai sistemi tradizionali.

Altre sperimentazioni riguardanti la sicurezza hanno dato i seguenti risultati:

- i BRA non inducono comportamenti pericolosi negli utenti che sembrano capire bene il principio di soppressione della corsia senza rimanere sorpresi dal sistema;
- si verifica una certa tendenza degli utenti a ritornare sulla corsia chiusa dopo aver superato l'ultimo braccio, atteggiamento che può essere pericoloso se i BRA non

sono messi in opera senza un'opportuna segnaletica di completamento.

Secondo le prime stime dell'ESCOTA questi dispositivi possono essere messi in opera in tutta sicurezza con flussi veicolari dell'ordine di 3500 veic/h.

Sono in fase di studio altre problematiche legate ai BRA, al fine di stabilire una loro reale convenienza rispetto ai sistemi tradizionali. Si vuole dunque:

- confermare la comprensione dei dispositivi da parte degli utenti, controllando che non si inducano nuovi pericoli;
- verificare il livello di sicurezza globale raggiunto, senza trascurare il rischio corso dagli operatori nella messa in opera dei tradizionali sistemi nell'atto della chiusura della "corsia veloce";
- definire la configurazione ottimale del materiale e le sue condizioni di impiego.

1.2.12.3 Pannelli a Messaggio Variabile

I segnali di tipo convenzionale, utilizzati nei cantieri, possono non risultare del tutto efficaci, per cui si consiglia l'uso di pannelli a messaggio variabile (PMV) dotati di unità radar per fornire messaggi di avvertimento ai guidatori veloci. L'unità radar rileva la velocità di ciascun veicolo che entra nel cantiere e può essere programmata per attivare il PMV se la velocità del veicolo eccede un valore di soglia predefinito. Si segnala uno studio che ha analizzato l'efficacia a breve termine dei PMV dotati di radar sulla riduzione della velocità dei veicoli in zona cantiere. I dati di velocità e di volume relativi al traffico sono stati raccolti da contatori automatici posti all'inizio, al centro e alla fine di ciascun cantiere. In più le velocità dei guidatori che hanno attivato i PMV superando la velocità di soglia sono stati registrati (usando una videocamera) in altre due posizioni all'interno del cantiere per diverse settimane e sono stati poi analizzati. I risultati dello studio hanno indicato che:

- i PMV con radar sono efficaci nel ridurre la velocità dei guidatori nei cantieri di breve durata (una settimana o meno) e costituiscono una tecnica di controllo della velocità efficace anche quando usati per periodi di tempo prolungati (fino a 7 settimane);
- la variazione di velocità in cantiere tende a ridursi con la loro introduzione;
- dati gli alti costi connessi al potenziamento del presidio del cantiere da parte delle forze dell'ordine ed il crescente bisogno di sicurezza, i PMV con radar risultano essere un dispositivo molto utile per il controllo della velocità sia nei cantieri di breve durata sia in quelli di lunga durata (64).

1.2.13 ASPETTI NORMATIVI IN ITALIA

1.2.13.1 Norme vigenti

In tema di sicurezza della circolazione, per i cantieri stradali la normativa attualmente in vigore è sostanzialmente contenuta nei seguenti provvedimenti:

- D.Lgs. 285/92 – Nuovo Codice della Strada e relativo Regolamento (DPR 16.12.92 n.495);
- D.Lgs. 494/96 e successivi aggiornamenti – Attuazione Direttiva 92/57 CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza da attuare nei cantieri temporanei e mobili.

Le norme del Nuovo Codice della Strada ed i relativi provvedimenti attuativi si ispirano al principio della sicurezza e fluidità della circolazione nel tratto di strada che precede un cantiere o una zona di lavoro, introducendo una serie di accorgimenti atti a segnalare all'automobilista, con congruo anticipo, l'approssimarsi ad una sostanziale variazione delle condizioni viabili, disponendo determinati comportamenti di guida.

Va innanzitutto sottolineato che il Codice si rivolge preminentemente alla triade strada, automobilista, veicolo e in loro identifica, a livello macro, i tre principali attori, ponendo in evidenza come il livello di sicurezza sia funzione delle condizioni della strada, del comportamento e dello stato fisico del conducente e delle condizioni del veicolo.

In sostanza il Codice, mediante determinati accorgimenti, impone dei comportamenti finalizzati a ridurre la pericolosità locale indotta dal cantiere e quindi a minimizzare il rischio: chiunque esegue lavori o deposita materiale sulle aree destinate alla circolazione o alla sosta dei veicoli e dei pedoni deve adottare gli accorgimenti necessari per la sicurezza e la fluidità della circolazione e mantenerli in perfetta efficienza sia di giorno sia di notte. Il regolamento stabilisce le norme relative alla modalità ed ai mezzi per la delimitazione e la segnalazione dei cantieri, alla realizzabilità della visibilità diurna sia notturna del personale addetto ai lavori esposto al traffico dei veicoli, nonché agli accorgimenti necessari per la regolazione del traffico, nonché le modalità di svolgimento dei lavori nei cantieri stradali.

Per quanto concerne l'informazione e la prevenzione questa deve essere attuata mediante la posa di specifica segnaletica finalizzata alla sicurezza della circolazione nel tratto di strada che precede un cantiere e composta da segnali indicanti i comportamenti da tenere nella fase di approccio al cantiere, imponendo la velocità massima consentita, informando sulle dimensioni della deviazione e sulle manovre

da eseguire all'altezza del cantiere in funzione del tipo di strada e alle situazioni del traffico. La disposizione e ubicazione dei segnali da impiegare per la segnalazione di un cantiere è regolamentata di norma dalla circolare del ministero LL.PP. 2900/84 aggiornata ai sensi del nuovo Codice della Strada e relativo Regolamento di Attuazione.

In merito alla protezione dell'automobilista il Codice non impone precise norme in quanto ritiene che il rispetto della segnaletica sia sufficiente a garantire la sicurezza dello stesso. Per quanto riguarda i dispositivi, il Regolamento (DPR 495/92 aggiornato con il DPR 610/96) si limita ad identificare i mezzi di delimitazione, identificandoli con le barriere, i coni e delineatori flessibili e subordinando eventuali ulteriori dispositivi al rilascio di specifica autorizzazione da parte del ministero Lavori Pubblici.

Per quanto concerne le barriere, ne è imposta l'obbligatorietà anche lungo i lati longitudinali nelle zone che presentano condizioni di pericolo per i veicoli in transito o per le persone al lavoro.

Il D.Lgs. 494/96 e successive integrazioni, delinea un complesso di disposizioni di carattere organizzativo e procedurale con la finalità di programmare e coordinare tutti i lavori che si svolgono in un teatro operativo, il cantiere, che è estremamente variabile. Nel campo della sicurezza tali disposizioni delineano un approccio sistemico che coinvolge tutti i soggetti aventi, in varia misura, un ruolo ben definito nell'intero processo di ideazione e realizzazione di una determinata opera; sicurezza che va ricercata sin dalla fase di avvio delle azioni e nella stessa progettazione. Con l'emanazione del decreto il legislatore carica di maggiore responsabilità il committente e i suoi delegati, assegnando loro un compito non facile, irto di difficoltà e di precise responsabilità; un compito che presuppone, oltre ad una buona conoscenza delle problematiche connesse con la realizzazione dell'opera e quindi dei rischi ad essa connessi, anche la conoscenza di processi costruttivi alternativi e di nuovi o quanto meno moderni dispositivi atti a ridurre i rischi e, di conseguenza, a migliorare la sicurezza intrinseca del cantiere. In questo contesto assume particolare rilievo il piano di sicurezza e coordinamento che, come noto, deve contenere l'analisi e la valutazione dei rischi e le conseguenti procedure, gli apprestamenti e le attrezzature atti a garantire, per tutta la durata dei lavori, il rispetto delle norme.

In relazione alla tipologia del cantiere interessato in detto piano devono essere esaminati, tra gli altri, i seguenti elementi:

- a. Modalità da seguire per la recinzione del cantiere, gli accessi e le segnalazioni;
- b. protezioni o misure di sicurezza contro possibili rischi provenienti dall'ambiente

esterno.

Nel campo della cantieristica stradale tali elementi assumono una particolare valenza in quanto, molto spesso, la coerenza con rispettive finalità trova oggettive difficoltà di realizzazione. Si nota subito che mentre il punto a. è volto a far sì che la sicurezza delle persone esterne al cantiere (pedoni, autoveicoli in transito, modalità di accesso al cantiere) sia assicurata mediante adeguate recinzioni, il punto b., al contrario, è volto alla sicurezza delle persone impiegate nel cantiere verso possibili intrusioni esterne. Va da se che per alcuni elementi (punto a.- segnalazioni e recinzioni) ci si può appoggiare a una precisa normativa (Codice della Strada e relativo Regolamento, Circolare 2900/84), mentre per gli altri (punto b.) il discorso assume una connotazione più complessa, più articolata e di non facile soluzione (protezioni e misure di sicurezza), in quanto, non essendo il tutto riconducibile a precise norme, soggiace alle valutazioni del singolo, che di fatto, all'atto della formulazione e identificazione dei dispositivi di protezione e di sicurezza, deve tenere in debito conto anche le oggettive difficoltà logistiche e strutturali che possono ostacolare la predisposizione di "adeguate protezioni" passive quali le barriere new jersey o il guardrail. Predisporre uno schema segnaletico da inserire nel piano di sicurezza, non può e non deve essere inteso come la soluzione del problema, bensì deve essere considerato come un elemento oggettivo necessario da collocare in un contesto di valutazione complessiva preventiva dei possibili dispositivi e protezioni da adottare per limitare il livello di rischio.

Una valutazione che dovrà contemplare anche i periodi di fermo attività del cantiere (festivi, nottetempo) allorquando la bassa intensità di traffico e l'assenza di persone al lavoro possono contribuire ad abbassare il livello di attenzione dell'automobilista, o di altre terze persone, rendendo possibile l'insorgere di nuovi rischi (30).

1.2.13.2 Segnaletica di cantiere

Secondo quanto disposto dal Nuovo Codice della Strada, nel capitolo sulla costruzione e tutela delle strade, i lavori e i depositi su strada e i relativi cantieri devono essere dotati di sistemi di segnalamento temporaneo sia mediante l'impiego di appositi segnali, individuati fra quelli di pericolo, prescrizione e indicazione, sia con specifici elementi di delimitazione costituiti da barriere (i normali cavalletti), delineatori speciali, coni e delineatori flessibili e segnali orizzontali temporanei, oltre ad altri tipi di segnalamento che rendano perfettamente visibili, sia di giorno che di notte, le persone e le macchine che operano nel cantiere. La presenza di un cantiere sulla strada costituisce una anomalia al normale svolgersi della circolazione: ostacoli

provvisori e deviazioni temporanee possono rendere le strade potenzialmente pericolose. Compito essenziale della segnaletica è quindi di allertare i conducenti dei veicoli e informarli delle modifiche apportate al tracciato stradale, per consentire loro di adattarsi tempestivamente a condizioni di guida impreviste.

Il principio, valido per l'insieme della segnaletica stradale, ma ancor più le situazioni straordinarie determinate dai cantieri, è che ai fini della sicurezza stradale, l'importanza dei segnali è proporzionale alla loro chiarezza ed immediata visibilità, in ogni condizione climatica e ora del giorno; non a caso in Nuovo Codice della Strada dedica più articoli alla "visibilità" e, descrivendo i diversi elementi, pone la sua attenzione non solo sulle dimensioni ed il contenuto, ma anche sugli aspetti cromatici e di rifrangenza, indicando più o meno esplicitamente la necessità di adottare prodotti ad alto rendimento fotometrico che permettano di migliorare i tempi di avvistamento e di percezione dei segnali (6).

Paradossalmente, ad una situazione che richiede il massimo di informazioni, corrispondono normalmente i segnali meno efficienti in termini di qualità e di collocazione. Infatti, molto spesso vengono impiegati segnali di cantiere usurati, deformati, non più a norma (a sfondo bianco invece di giallo) o che risultano scarsamente visibili per ridotta rifrangenza o errata collocazione degli stessi. Fenomeno che risulta ancora più aggravato di notte o in condizioni di scarsa visibilità, anche perché i dispositivi luminosi impiegati per tali circostanze sono sovente scadenti e non sono tra quelli approvati da ministero dei LL.PP. a norma dell'art. 36 del regolamento.

La segnaletica orizzontale provvisoria prevista per i cantieri di lunga durata (più di 7 giorni lavorativi) è anch'essa troppo spesso di qualità scadente e non rispettosa delle disposizioni dell'art. 35 del regolamento. Di rado, infatti, vengono utilizzati prodotti rimovibili che evitano la confusione che può nascere quando il cantiere viene rimosso e restano visibili tracce di segnali orizzontali temporanei unitamente a quelli permanenti. A volte, di contro, si assiste al tracciamento di segnaletica orizzontale temporanea anche quando non è necessario, perché quella permanente presente non è in contrasto con il regime provvisorio di circolazione. La scarsa cura per questo tipo di segnaletica si manifesta anche quando si osserva la presenza in zona di cantiere di segnali permanenti e provvisori in contrasto fra loro, con ovvia confusione dell'utente della strada. In altre circostanze poi, si è avuto modo di constatare che rimangono in opera segnali provvisori anche dopo che sono cessate le cause che ne hanno giustificato l'installazione.

Ovviare alle carenze ivi richiamate non comporta grandi sforzi e tanto meno grandi spese; si pensi che i costi per la sicurezza non sono soggetti al ribasso nelle

offerte delle imprese appaltanti. È sufficiente una comune diligenza del personale preposto, sia dell'ente proprietario della strada che degli organi di polizia stradale oltre che degli esecutori dei lavori (7).

L'impegno muove da una indicazione precisa degli schemi segnaletici da adottare per lo specifico cantiere precisando le caratteristiche tecniche dei segnali (tipo e supporto della pellicola, caratteristiche delle lampade, tipi di delineatori, ecc.), e presuppone una verifica dell'ubicazione e sequenza dei segnali, dei dispositivi ottici, degli elementi di delimitazione per arrivare al controllo successivo dello stato di manutenzione dell'impianto segnaletico. Questi compiti, in buona misura, trovano una collocazione naturale già in fase di predisposizione del Capitolato Speciale d'Appalto nel quale, sempre con maggiore frequenza, è presente una specifica sezione in cui, per ciascuna delle parti (committente, appaltatore), vengono definiti inequivocabilmente i rispettivi compiti, ruoli, oneri ed obblighi. Per lo specifico campo della segnaletica si citano:

- a. Lo schema segnaletico che dovrà essere adottato per ogni possibile configurazione di incanalamento e circolazione del traffico in funzione delle necessità cantieristiche (in questo contesto possono essere introdotte anche eventuali disposizioni particolari ed aggiuntive agli schemi normati dalla Circ. 2900/84 e successive modifiche e integrazioni);
- b. Le caratteristiche dimensionali, fotometriche e colorimetriche di:
 - Segnali verticali;
 - segnaletica orizzontale ed eventuali dispositivi integrativi;
 - apparati luminosi (lampade e cascate luminose);
 - dispositivi di delimitazione (coni, delineatori flessibili, delineatori speciali, cordoli, ecc.) e relativi possibili campi di utilizzo;
- c. composizione minima della/e squadra incaricata della manutenzione, movimentazione, posa e recupero di segnaletica con profilo professionale del capo squadra;
- d. disposizioni particolari in merito alle procedure comportamentali da adottare nelle attività di posa, movimentazione e recupero della segnaletica di cantiere;
- e. guardiania, manutenzione e ripristino della segnaletica;
- f. scorte minime di segnaletica per sostituzioni e/o integrazioni;
- g. penali per mancata osservanza delle prescrizioni.

Questa specifica sezione del Capitolato Speciale d'Appalto, se da un lato assolve in parte il preciso compito di informazione da parte del committente verso l'appaltatore in merito alle modalità di segnalazione del cantiere, basata

sostanzialmente su quanto previsto dalla relativa normativa, eventualmente integrata con dispositivi supplementari ritenuti utili a migliorare la sicurezza, dall'altro consente, sin dalle prime fasi procedurali (progetto), di prevedere e successivamente imporre determinate scelte operative e comportamentali cui l'appaltatore dovrà adeguarsi essendo le stesse parte integrante del contratto; scelte che, ovviamente, devono essere basate su una approfondita e solida conoscenza delle problematiche ambientali e operative in cui si articolerà l'attività del cantiere, volte a contenere il livello del possibile rischio.

Il Nuovo Codice della Strada identifica con precisione i dispositivi segnaletici da adoperare per i cantieri.

1. **Delineatori speciali:** i delineatori speciali (art.33) sono i “paletti di delimitazione” e i “delineatori modulari di curva provvisoria”. Il paletto di delimitazione, costituito da un pannello di almeno 20 x 80 centimetri colorato con bande alternate bianche e rosse, poste a 45 gradi, deve essere usato in serie per evidenziare i limiti ed il percorso di avvicinamento alle zone di lavoro. Il delineatore modulare di curva provvisoria (stesso art.33) è invece un pannello quadrato di 60 x 60 centimetri o 90 x 90, sul quale è riportato un disegno a punta di freccia bianca su fondo rosso, da utilizzare anch'esso in una successione di elementi per evidenziare la direzione di curve provvisorie con raggio inferiore o uguale a 200 metri.
2. **Coni e delineatori flessibili:** il cono (art.34) costituito da materiali flessibili quali gomma o plastica, è previsto di tre altezze differenti e con una superficie di colore rosso alternato da anelli bianchi retroriflettenti; strutturalmente deve avere un'adeguata base d'appoggio appesantita dall'interno o dall'esterno per garantire la stabilità in ogni condizione. A differenza dei paletti e delineatori di curve, la sua funzione è quella di delimitare e evidenziare zone di lavoro o operazioni di manutenzione di durata non superiore ai due giorni, come ad esempio la realizzazione di segnaletica orizzontale, o per indicare le aree interessate da incidenti o gli incanalamenti temporanei per posti di blocco, oppure la separazione provvisoria di due o più sensi di marcia. Il delineatore flessibile, previsto in tre differenti forme, è invece di forma lamellare o cilindrica, realizzato con materiali flessibili (come gomma o plastica), con una superficie rossa sulla quale si alternano strisce bianche o inserti quadrati o circolari, sempre bianchi e retroriflettenti; la base deve essere adesiva o comunque in grado di fissarsi alla superficie stradale, perché il delineatore, se urtato, deve potersi piegare e immediatamente riprendere la posizione verticale originaria. A differenza del cono, la sua funzione è quella di delimitare sensi di marcia o zone

di lavoro di durata superiore ai due giorni.

3. **Segnali orizzontali temporanei:** i segnali orizzontali temporanei e i dispositivi retroriflettenti integrativi o sostitutivi della segnaletica orizzontale fissa (art.35) devono essere gialli, antisdrucchiolevoli e di spessore non superiore ai cinque millimetri: per la natura devono poter essere rimossi integralmente e rapidamente al termine dei lavori, senza lasciare alcuna traccia sulla pavimentazione o danneggiarla, sempre che non debba comunque essere rifatta. La loro funzione è quella di sostituire la normale segnaletica orizzontale, guidare i conducenti e garantire la sicurezza del traffico in approccio e in prossimità di cantieri, lavori o deviazioni di durata superiore a sette giorni. I dispositivi retroriflettenti integrativi (come gli “occhi di gatto”) possono essere usati per rafforzare i segnali orizzontali temporanei in situazioni particolarmente pericolose: fra le caratteristiche richieste vi sono un sistema di fissaggio con adesivi di sicurezza o altri sistemi che eviti distacchi, il colore giallo della luce riflessa e un'altezza non superiore a 2.5 centimetri; anch'essi devono poter essere rimossi facilmente senza produrre danni al manto stradale.
4. **Persone al lavoro:** per l'immediata visibilità da parte dei conducenti dei mezzi in transito delle persone che operano sui cantieri, in ogni ora del giorno o della notte è prescritto l'uso di indumenti di lavoro fluorescenti e rifrangenti, realizzati con tessuto di base fluorescente di colore arancio o giallo o rosso con applicazione di fasce rifrangenti di colore bianco argento. In caso di interventi di breve durata può essere utilizzata una bretella realizzata con materiale sia fluorescente che rifrangente di colore arancio.
5. **Visibilità notturna:** la segnaletica deve essere percepibile e leggibile di notte come di giorno facendo uso di dispositivi di illuminazione per rifrangenza, oltre alla possibilità di disporre di illuminazione propria per trasparenza, con una luce interna. Per quanto concerne i delineatori flessibili e i coni, la visibilità notturna deve essere assicurata dalla rifrangenza almeno delle parti bianche, con materiali ad elevata efficienza. I segnali orizzontali temporanei e i dispositivi integrativi dei segnali orizzontali devono essere realizzati con materiali tali da renderli visibili sia di giorno che di notte anche in presenza di pioggia o con fondo stradale bagnato. A integrazione della visibilità dei mezzi segnaletici rifrangenti, o in loro sostituzione, possono essere impiegati dispositivi luminosi a luce gialla; inoltre, durante le ore notturne, e in tutti i casi di scarsa visibilità, le barriere di testata delle zone di lavoro devono essere munite di idonei apparati luminosi di colore rosso a luce fissa, e lo sbarramento obliquo che precede eventualmente la zona di lavoro deve essere integrato da dispositivi a luce gialla lampeggiante, in

sincrono o in progressione (luci scorrevoli).

L'operazione di posa e raccolta dei conici di segnalazione per delimitare le corsie e i cantieri durante i lavori in corso sulle strade costituisce un ulteriore problema per la sicurezza degli automobilisti e degli operatori. Tale operazione viene svolta per mezzo di un addetto che, seduto o "appeso" alla parte posteriore di un furgone che procede a velocità notevolmente ridotta, provvede a posare o raccogliere i conici a mano. Anche se opportunamente segnalata, l'operazione costringe l'operatore a sporgersi da un veicolo che procede molto lentamente, vicinissimo al traffico ad alta velocità che si trova sulla corsia adiacente a quella che si sta delimitando, con grave rischio di investimento o di tamponamento del veicolo. I rischi aumentano notevolmente se si sta lavorando in galleria in quanto è noto che il guidatore necessita di un lasso di tempo, funzione dell'illuminazione ivi installata, per adattare la pupilla alla nuova situazione di luce incontrata nell'ingresso in galleria (8).

1.3 RICERCA DA ATTIVARE

La ricerca fino ad ora condotta è stata di pregevole valore ed ha richiesto notevoli sforzi. I risultati ottenuti, tuttavia, non sono esaustivi ed inoltre, essendo stati ricavati per differenti paesi/regioni e tipi di cantieri, sono di tipo generale e non certo utili per poter effettuare un'analisi di tipo benefici/costi relativa ad uno specifico sito. Quest'ultima considerazione è particolarmente vera in Italia, ove non risulta siano stati effettuati studi sull'argomento e quindi in grado di tenere conto delle specificità del comportamento degli automobilisti italiani. L'applicazione nel nostro Paese di criteri generali ricavati in altri Paesi pertanto non è né immediata e né di indubbia validità. Accanto a tale aspetto inerente l'applicabilità dei risultati ottenuti occorre anche sottolineare che non sono state ancora messe a punto, né in ambito nazionale né in ambito internazionale, procedure che ottimizzino i cantieri e le loro attrezzature in relazione alla sicurezza desiderata ed ai costi che occorre sostenere per conseguirla.

Il programma di ricerca che si propone è finalizzato a dotare il nostro Paese di uno strumento che permetta di migliorare la sicurezza della circolazione nell'ambito dei cantieri. Esso sarà basato sui risultati della ricerca condotti negli altri Paesi opportunamente rivisti ai fini dell'impiego in Italia e su uno studio che dovrà effettuarsi rivolto alla definizione di relazioni che legano l'incidentalità nei cantieri ai

fattori che la condizionano in Italia.

1.4 Risultati attesi

I risultati attesi dalla ricerca che si vuole condurre sono la realizzazione di linee guida che permettano l'ottenimento di un buon livello di sicurezza della circolazione nei cantieri e la definizione di relazioni che legano l'incidentalità in queste particolari zone ai fattori che la condizionano.

2 CONTENUTI E MODALITA' DI REALIZZAZIONE

2.1 OGGETTO DELLA RICERCA

Come già indicato nel paragrafo precedente gli obiettivi del programma di ricerca sono 3:

1. il tracciamento di linee guida iniziali basate sui risultati ottenibili dalla letteratura internazionale.
2. la definizione di relazioni che legano l'incidentalità nei cantieri ai fattori che la condizionano in Italia;
3. l'adeguamento delle linee guida, costituenti il primo obiettivo, effettuato sulla scorta di dati inerenti la realtà del nostro Paese.

Per il loro raggiungimento si prevede siano necessarie le 6 fasi di seguito descritte.

2.1.1 RAPPORTO SULLO STATO DELL'ARTE

Questo rapporto dettagliato sullo stato dell'arte della sicurezza stradale dei cantieri, sia di lunga che di breve durata, dovrà contenere almeno:

- i dati sugli incidenti, con confronti internazionali e analisi dell'evoluzione del fenomeno;
- lo stato dell'arte sull'influenza dei vari fattori che incidono sulla sicurezza;
- lo stato dell'arte sul comportamento degli utenti in prossimità dei cantieri, in termini di traiettoria, velocità nell'ambito del cantiere e variazione di velocità tra il tratto che precede il cantiere ed il cantiere stesso;
- lo stato dell'arte sui criteri per definire i limiti di velocità in prossimità dei cantieri e loro confronto;
- lo stato dell'arte sulle misure di controllo della velocità e loro efficacia;
- lo stato dell'arte sui dispositivi di segnalamento e loro efficacia e sicurezza;
- lo stato dell'arte sui dispositivi di contenimento dei veicoli in fuoriuscita e loro efficacia;
- lo stato dell'arte sui dispositivi innovativi e loro efficacia;
- lo stato dell'arte sulla geometria del cantiere, sulla sistemazione delle zone di approccio e di uscita e sulla loro efficacia;
- lo stato dell'arte sui dispositivi per il controllo del traffico adoperati per i cantieri di brevissima durata e loro efficacia;
- lo stato dell'arte sulle normative internazionali inerenti la sicurezza stradale nei cantieri;
- lo stato dell'arte sulla politica di miglioramento della sicurezza stradale nei cantieri;
- la sintesi critica su ciascuno degli stati dell'arte precedenti.

2.1.2 REDAZIONE DI RACCOMANDAZIONI DEFINITE SULLA SCORTA DELLA LETTERATURA INTERNAZIONALE

Queste raccomandazioni per la sicurezza stradale dei cantieri, sia di lunga che di breve durata, definite sulla scorta della letteratura internazionale dovranno riguardare:

- la definizione della geometria del cantiere e della sistemazione delle zone di approccio e di uscita;
- la definizione delle misure di controllo della velocità;
- la definizione dei dispositivi di segnalamento;

- la definizione dei dispositivi di contenimento dei veicoli in fuoriuscita;
- la definizione di liste di controllo per il progetto dei cantieri e la verifica di sicurezza dei cantieri in esercizio.

2.1.3 PREDISPOSIZIONE DI UNA SCHEDA DI RILEVAMENTO DEGLI INCIDENTI

Questa scheda deve consentire il rilevamento :

- degli incidenti che avvengono nell'ambito del cantiere;
- degli incidenti che avvengono nella zona di approccio e di uscita al cantiere,
- degli incidenti riconducibili al cantiere che avvengono nei tratti di strada che precedono e seguono le zone di approccio e di uscita;
- della posizione dell'incidente;
- del tipo di incidente;
- della dinamica dell'incidente;
- dell'angolo e della velocità di impatto;
- dei veicoli e dei dispositivi coinvolti;
- dei danni a cose e persone, differenziando fra personale del cantiere ed utenti della strada;
- della geometria e delle condizioni della strada;
- delle condizioni meteorologiche;
- del tipo di cantiere e lavori eseguiti;
- della geometria dell'area di cantiere;
- della durata del cantiere;
- dell'ora del giorno e delle condizioni di illuminazione;
- delle condizioni del traffico.

2.1.4 RILEVAMENTO ED ELABORAZIONE DEGLI INCIDENTI

Il rilevamento dovrà essere effettuato mediante la scheda di cui al paragrafo precedente e dovrà essere successivamente elaborata mediante l'aggiunta:

- del traffico leggero e pesante;
- degli incidenti e del tipo di incidenti che si sono verificati nella zona del cantiere

- prima dell'apertura dello stesso, per circa 5 anni;
- della geometria della strada prima e dopo il cantiere.

2.1.5 ANALISI DEI DATI RELATIVI AGLI INCIDENTI

Questa fase ha il fine di individuare, per quanto possibile, le relazioni tra l'incidentalità ed i fattori che maggiormente incidono su di essa, tra cui ad esempio:

- la tipologia di cantiere, la sua durata e la sua geometria;
- la geometria della zona di approccio;
- la differenza di velocità;
- i dispositivi di controllo;
- il traffico e la sua composizione.

2.1.6 ADEGUAMENTO DELLE LINEE GUIDA DI CUI ALLA FASE 2

In questa fase si deve:

- valutare l'efficacia delle linee guida proposte nella fase 2 mediante l'applicazione agli incidenti rilevati
- inglobare le relazioni tra l'incidentalità ed i fattori che la condizionano rilevate nella fase 5
- adeguare le linee guida sulla scorta dei primi due punti di questa fase

2.2 MODALITA' DI ESECUZIONE

FASE1

Modalità esecutive La fase 1 è di tipo bibliografico e potrebbe essere arricchita con visite di studio presso gli istituti esteri che affrontano la problematica della sicurezza stradale nei cantieri.

Prodotto finale Rapporto sullo stato dell'arte

FASE2

Modalità esecutive La fase 2 dovrà essere realizzata utilizzando i risultati dell'analisi bibliografica, attraverso il lavoro coordinato di un gruppo di esperti nel

settore della sicurezza stradale e delle tecniche di cantiere. Le linee guida ottenute dovranno essere sottoposte ad un primo breve periodo di pratica applicazione e poi eventualmente modificate.

Prodotto finale Linee guida iniziali basate sulla ricerca internazionale

FASE 3

Modalità esecutive La fase 3 dovrà essere articolata in più sottofasi. La prima di esse dovrà essere finalizzata alla definizione di una scheda sulla scorta dell'analisi bibliografica e dovrà individuare la precisione richiesta alle misure. La seconda sottofase comprenderà l'applicazione della scheda prima definita. La terza sottofase avrà l'obiettivo di valutare l'efficacia della scheda ed eventualmente di modificarla opportunamente. La quarta sottofase sarà rivolta alla strutturazione di un data base per l'implementazione dei dati della scheda. La quinta ed ultima sottofase dovrà avere come risultato la redazione di un manuale dettagliato per la compilazione della scheda.

E' opportuno che questa fase sia coordinata con le fasi 4 e 5

Prodotto finale Redazione di una scheda di rilevamento e di un manuale per la compilazione

FASE 4

Modalità esecutive La fase 4 consiste nel rilevamento degli incidenti, che dovrà essere effettuato entro 12 ore, e dell'ambiente in cui essi avvengono. La scheda da riempire dovrà essere quella definita nella fase 3. Occorrerà prestare particolare attenzione agli incidenti che avvengono prima e dopo i tratti di approccio e fine cantiere con l'obiettivo di poter stabilire se essi sono dovuti o meno alla presenza del cantiere. Ciascun incidente dovrà essere successivamente elaborato in modo da poterne stabilire la dinamica e poter effettuare un confronto con gli incidenti che avvenivano prima dell'apertura del cantiere. L'organizzazione di questa fase della ricerca dovrà essere condotta a livello centrale in quanto occorrerà coinvolgere le amministrazioni che gestiscono le strade, la polizia stradale, le altre forze dell'ordine ed i responsabili della sicurezza dei cantieri.

E' opportuno che questa fase sia coordinata con le fasi 3 e 5

Prodotto finale Data base di incidenti

FASE 5

Modalità esecutive La fase 5 dovrà essere realizzata mediante l'elaborazione dei dati rilevati nella fase 4 ed è opportuno che essa sia coordinata con quest'ultima e

con la fase 3.

Prodotto finale Definizione di relazioni tra l'incidentalità ed i fattori che maggiormente incidono su di essa

FASE 6

Modalità esecutive La fase 6 dovrà essere condotta sulla scorta dei risultati di tutte le fasi precedenti

Prodotto finale Adeguamento delle linee guida di cui alla fase 2 effettuato sulla scorta di dati inerenti la realtà del nostro Paese

2.3 tempi, risorse e costi

Di seguito si riporta il programma temporale della ricerca, con stima dei costi e delle risorse necessarie. I costi di seguito indicati sono comprensivi delle spese generali dell'ente di ricerca.

I costi delle risorse umane sono stati così ipotizzati:

- Senior50'000'000 £/mese
- Junior 140'000'000£/mese
- Junior 230'000'000£/mese
- Tecnico laureato20'000'000£/mese
- Tecnico non laureato10'000'000£/mese

Il primo anno di ricerca ha il duplice obiettivo di fornire un prodotto in se finito, le linee guida iniziali, e di avviare la ricerca finalizzata al perseguimento degli altri due obiettivi, relazioni di incidentalità e linee guida adeguate alla realtà italiana. Il costo complessivo è di 550 milioni di cui 350 per il primo obiettivo.

Nel secondo anno saranno realizzate le ulteriori attività necessarie al perseguimento degli ultimi due obiettivi. Il costo complessivo di questo anno è di 400 milioni

Fase	I° anno				II° anno				Costo
Rapporto bibliografico	■	■							50 (0.25 junior 1, 2 tecnico 1)
Linee guida iniziali		■	■	■					300 (1 senior, 3 junior1, 3 junior2, 2 tecnico 1)
Predisposizione scheda di rilevamento	■								50 (0.1 senior, 0.25 junior1, 0.5 junior2,1 tecnico 1)
Rilevamento incidenti 1		■	■	■					150 (0.2 senior, 1 junior1, 1 junior2, 2 tecnico 1, 3 tecnico2)
Rilevamento incidenti 2					■				50 (.1 senior,0.3 junior1,0.4 junior2, 0.6 tecnico 1,1 tecnico 2)
Analisi dei dati incidentali						■			150 (1 senior, 1 junior1, 1 junior2, 1.5 tecnico 1)
Adeguamento linee guida							■	■	200 (1 senior, 1.5 junior1, 2 junior2,1 tecnico 1, 1 tecnico2)
Totale									950

2.4 MODALITÀ DI ARCHIVIAZIONE DEI DATI E DEI RISULTATI CONSEGUITI

Il rapporto conclusivo di ciascuna delle 8 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 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 e dovranno essere testimoniate da pubblicazioni di rilevante interesse e/o dalla partecipazione a rilevanti progetti di ricerca:

- Esperienza nell'ingegneria stradale;
- Conoscenza dei principi base di funzionamento dei dispositivi di controllo, di segnalazione e di ritenuta;
- Esperienza nelle analisi di incidentalità;
- Esperienza nel rilievo degli incidenti;
- Esperienza nella ricostruzione della dinamica 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);
- offerta economica;
- qualità della relazione di offerta.

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

BIBLIOGRAFIA

1. Elias A.M., Herbsman Z.J., "Safety evaluation of highway work zones using risk analysis techniques", Transportation Research Board, Washington, DC, Nov. 1999.
2. Venugopal S., Tarko A., "Safety models for rural freeway work zones", Transportation Research Board, Washington, DC, Gen. 2000.
3. Sawaya O.B., Schofer J.L., Ziliaskopoulos A.K., Raub R.A., "Continuous learning process model for work zone safety management", Transportation Research Board, Washington, DC, Luglio 1999.
4. Khattak A.J., Khattak A.J., Council F.M., "Analysis of injury and non-injury crashes in California work zones", Transportation Research Board, Washington, Gennaio 1999.
5. Bella F., "SIIV: Gli effetti indotti dai cantieri sotto traffico", Quarry & Construction, Giugno 1999.
6. Bonomo Fabrizio, "Segnaletica per la sicurezza nei cantieri stradali", Le Strade, Sett. 1998.
7. Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale del Ministero dei LL.PP., "Direttiva sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del Codice della Strada in materia di segnaletica, oltrechè sui criteri per la sua installazione e la sua manutenzione", in itinere.
8. Colombo Livio, "Un sistema sicuro per la posa e raccolta automatizzata dei coni di segnalazione sulla sede stradale", Dimensione Strada N°1, G/F 1993.
9. Wang J., Hughes W.E., Council F.M., Paniati J.F., "Investigation of highway work zone crashes: what we know and what we don't know", Transportation Research Record 1529, Washington, DC, 1996.
10. Gunnarson S.O., "Traffic crash prevention and reduction review of strategies", Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences, Vol. 20, n° 2, 1996.
11. National Highway Traffic Safety Board, "Report NTSB/SS-92-02. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, Giu 1992.
12. Garber N.J., "Our role in the process / future of work zone safety", Proc. National Conference on work zone safety Washington, DC, 1994.
13. Juergens W.R., "Construction zone, detour and temporary connection accidents", Business and Transportation Agency, California Division of Highways, Giu. 1972.
14. Graham J.L., Paulsen R.J., Glennon J.C., "Accident and speed studies in

- construction zones”, Report FHWA-RD-77-80. FHWA, U.S. Department of Transportation, Giu 1977.
15. Nemeth Z.A., Migletz D.J. “Accident Characteristics before, during and after safety upgrading projects on Ohio’s rural interstate system”, Transportation Research Record 672, TRB, National Research Council, Washington, DC., 1978.
 16. Paulsen R.J., Harwood D.W., Glennon J.C., “Status of traffic safety in highway construction zones”, in Transportation Research Record 693, National Research Council, Washington, DC., 1978.
 17. Lisle F.N., “Evaluation of timber barricades and recast concrete traffic barriers for use in highway construction areas”, in Transportation Research Record 693, National Research Council, Washington, DC., 1978.
 18. Flowers R.J., Cook J.M., “Accident severity in construction zones”, TARE-35, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Mar. 1981.
 19. Richards S.H., Faulkner M.J., “An evaluation of work zone traffic accidents occurring on Texas highways in 1977”, Research Report 263-3, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Lugl. 1981.
 20. Hargroves B.T, Martin M.R., “Vehicle accidents in highway work zone”, Report FHWA-RD-80-063. FHWA, U.S. Department of Transportation, Dic 1980.
 21. Garber N.J., “Work zone safety findings: statement of the problem”, Proc. National Conference on work zone safety Washington, DC, 1994.
 22. Pigman J.G, Agent K.R, “Highway accidents in construction and maintenance work zone, Transportation Research Record 1227, National Research Council, Washington, DC., 1986.
 23. Hall J.W, Lorenz V.M., “Characteristics of construction-zone accidents”, Transportation Research Record 1230, National Research Council, Washington, DC., 1989.
 24. Casteel D.B., Ullman G.L., “Accidents at entrance ramps in long-term construction work zones”, in Transportation Research Record 1352, National Research Council, Washington, DC., 1991.
 25. Madnat S.M., Cassidy M., Teng H.L., Liu P., “Decision making system for freeway incident response using sequential hypothesis testing methods”, Transportation Research Record 1554, National Research Council, Washington, DC., 1996.
 26. Zeeger C.V., Hummer J., Reinfurt D., Herf L., Hunter W., “Safety effects of

- cross-section design for two-lane roads, FHWA-RD-87-008. FHWA, Washington, DC., 1987.
27. Cleveland D.E., Kitamura R., “Macroscopic modelling of two-lane rural roadside accidents”, in Transportation Research Record 681, National Research Council, Washington, DC., 1978.
 28. Benekohal R.F., Hashmi A.M., “Procedures for estimating accident reductions on two-lane highways”, Journal of Transportation Engineering, Vol 118, N°1, Genn 1992.
 29. Vogt A., Bared J.G., (1998), “Accident models for two-lane rural roads: segments and intersections”, FHWA-RD-98-133. FHWA, Washington, DC., 1998.
 30. Bosetti Roberto, La sicurezza nei cantieri stradali, Le Strade, Apr. 2000.
 31. Pal R., Sinha K.C. , “Analysis of crash rates at interstate work zones in Indiana”, in Transportation Research Record 1529, National Research Council, Washington, DC., 1996.
 32. Pal R., Sinha K.C., “Evaluation of crossover and partial lane closure strategies for interstate work zones in Indiana”, in Transportation Research Record 1529, National Research Council, Washington, DC., 1996.
 33. Road Work Zone “Typology, Safety Measures, Standards and Practices” ARROWS Deliverable 1 – VTI EC Research 4 1999.
 34. Road Work Zone “Review of Behavioural Studies, Accident Studies and Research Methods” ARROWS Deliverable 2 – VTI EC Research 5 1999.
 35. Benekohal R.F. & Wang L., “Relationship between initial speed and speed inside a highway work zone”, in Transportation Research Record 1442, National Research Council, Washington, DC., 1994.
 36. “Synthesis of Improved Sets of Safety Measures for Road Work Zones” ARROWS Workshop/Deliverable 3 – VTI EC Research 6 1999.
 37. Road Work Zone Safety “Practical Handbook” ARROWS Deliverable 4 – Vol. I - VTI EC Research 7 1999.
 38. Road Work Zone Safety “Practical Handbook Background Report” ARROWS Deliverable 4 Vol. II – VTI EC Research 8 1999.
 39. Shibuya S., Nakatsuji T., Fujiwara T., Matsuyama E., “Traffic control at flagger-operated work zones on two-lane roads”, in Transportation Research Record 1529, National Research Council, Washington, DC., 1996.
 40. Polus A., Shwartzman Y., “Flow characteristics at freeway work zones and increased deterrent zones”, in Transportation Research Record 1657, , National Research Council, Washington, DC., 1999.

41. Jiang Y., "Traffic capacity, speed, and queue-discharge rate of Indiana's four-lane freeway work zones", in *Transportation Research Record* 1657, , National Research Council, Washington, DC., 1999.
42. Pesti G., Jessen D., Byrd P., McCoy P., "Traffic flow characteristics of the late merge work zone control strategy", in *Transportation Research Record* 1657, , National Research Council, Washington, DC., 1999.
43. Ullman G., "Queuing and natural diversion at short term freeway work zone lane closures", in *Transportation Research Record* 1529, , National Research Council, Washington, DC., 1996.
44. Highway Statistics (Statistiques routières), Federal Highway Administration, Washington D.C., 1980-1991.
45. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (Manuel d'uniformisation des dispositifs de contrôle de la circulation sur le réseau routier), Federal Highway Administration, Washington D.C., 1988.
46. McGee, H.W. et N.L. Geisler, Proceedings of the Symposium on Work Zone Traffic Control (Minutes du symposium sur le contrôle de la circulation aux abords des chantiers routiers), Final Report, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-TS-91-003, Juin 1991.
47. Nemeth, Z.A., A study of Accident Experience in Construction and Maintenance Zones (Etude des accidents enregistrés sur les chantiers de construction et d'entretien), Final Report, Ohio State University and Federal Highway Administration, Report No. FHWA-90/004, Décembre 1990.
48. Pigman, J.G. et K.R. Agent, «Highway accidents in Construction and Maintenance Zones» (Accidents survenus sur les chantiers routiers de construction et d'entretien), *Transportation Research Record* No. 1270, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1990, pp. 12-21.
49. Hall, J.W. et V.M. Lorenz, «Characteristics of Construction Zone Accidents» (Caractéristiques des accidents sur les chantiers routiers), *Transportation Research Board Record* No. 1230, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1989, pp.20-27.
50. Juergens, W.R., Construction Zone, Detour and Temporary Connection Accidents (Accidents dans les zones de travaux, sur les déviations et sur les bretelles provisoires), State of California, Business and Transportation Agency, Department of Public Works, Division of Highways, Juin 1972.
51. Lisle, F.N., «Evaluation of Timber Barricades and Precast Concrete Barriers for Use in Highway Construction Areas» (Evaluation de l'efficacité des barrières en bois et des séparateurs préfabriqués en béton sur les chantiers

- routiers), Transportation Research Record No. 693, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1978, pp. 18-25.
52. Ross, H.E., Jr., D.L. Sicking, R.A. Zimmer et J.D. Michie, NCHRP Report 350 «Recommended procedures for Safety Performance Evaluation of Highway Features» (Procédures recommandées pour l'évaluation de la sécurité des équipements routiers), TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1993.
53. Michie, J.D., NCHRP Synthesis of Highway Practice 182, Performance and operational Experience of Truck-mounted Attenuators (Synthèse des applications routières NA 182 dans le cadre du programme NCHRP : Expérience tirée des performances et du fonctionnement des amortisseurs d'impact montés sur camion), TRB, National Research Council, 1992.
54. Marquis, E.L. et T.J Hirsch, «Texas Crash Cushion Trailer to Protect Highway Maintenance Vehicles» (Remorque avec coussin amortisseur destinée à protéger les véhicules effectuant les travaux d'entretien routier), Highway Research Record No. 460, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1973, pp. 30-39.
55. Michie, J.D., NCHRP Report 230, «Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Appurtenances» (Procédures recommandées pour l'évaluation de la sécurité des équipements routiers), TRB, National Research Council, Washington, D.C., Mars 1981.
56. Bryden, James E., «Crash Tests of Work Zone Traffic Control Devices» (Essais de collision concernant les dispositifs de contrôle de la circulation aux abords de chantiers routiers), Transportation Research Record No. 1254, TRB, Washington, D.C., pp. 26-
57. Grandjean M, Lescure B., "Outils d'exploitation", Revue générale des routes et des aérodromes n° 733, octobre 1995.
58. Macé N., Bascoul D., "Les biseaux de rabattement", Revue générale des routes et des aérodromes n° 733, octobre 1995.
59. Bryden J.E., Andrew L.B., Fortuniewicz J.S., "Work zone traffic accidents involving traffic control devices, safety features, and construction operations", Transportation Research Record 1650, Washington D.C., ----
60. Bryden J.E., "Crash tests of work zone traffic control devices", Report 147 – Engineering Research and Development Bureau, New York State Department of Transportation, Albany, Feb. 1990.
61. Hahn K.C., Bryden J.E., "Crash tests of construction zone traffic barriers", Research Report 82 - Engineering Research and Development Bureau, New

- York State Department of Transportation, Albany, Giu. 1990.
62. MaK K., Bligh R., Menges W., “Evaluation of work zone barricades and temporary sign supports”, Texas Transportation Institute, Texas A&M University – College Station, 1996.
 63. Investigation of highway work zone crashes, Report FHWA-RD-96-100. FHWA, U.S. Department of Transportation, 1996.
 64. Garber N.J., Srinivasan S., “Influence of exposure duration of Changeable Message Signs in controlling vehicle speeds at work zones”, in Transportation Research Record 1650, National Research Council, Washington, DC., 1998.
 65. “Manual on Uniform Traffic Control Devices for Street and Highways, U.S. Department of Transportation”, Washington D.C., 1988.
 66. National Cooperative Highway Research Program, “Procedure for determining work zone speed limits”, Research Results Digest, N.192, Washington D.C..
 67. Solomon D., “Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle”, Bureau of public roads, 1964.
 68. Cirillo J.A., Interstate System Accident Research Study II, Interim Report II, Public Roads, vol.35, N.3, Ago.1968.
 69. Tignor S.C., Warren D.L., “Speed zoning in America: some preliminary research results”, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Giu.1989.
 70. Harkey L., Robertson H.D., Davis S.E., “Assessment of current speed zoning criteria”, 69° meeting annuale Transportation Research Board, Washington D.C., Gen.1990.
 71. Migletz J., Graham J.L., Anderson I.B., Harwood D.W., Bauer K.M., “Work zone speed limit procedure”, Paper N.99-0920, Transportation Research Record 1657.
 72. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Research Results Digest N.192, Transportation Research Board – National Research Council, Set.1996.