



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea

A.A. 2022/2023

Sessione di Laurea Aprile 2023

**IL CANTIERE STRADALE:
ANALISI DEI RISCHI INTERFERENZIALI IN AMBITO
AUTOSTRADALE**

Relatore:

Prof. Giuseppe Chiappinelli

Correlatore:

Ing. Giorgia Rizzo

Candidato:

Angelo Serratore

INDICE

ABSTRACT.....	6
INTRODUZIONE.....	8
CAPITOLO 1 - RISCHI INTERFERENZIALI.....	11
1.1 RISCHI INTERFERENZIALI: CONGESTIONE DEL TRAFFICO	12
1.2 RISCHI INTERFERENZIALI: INQUINAMENTO ATMOSFERICO.....	14
1.3 RISCHI INTERFERENZIALI: GAS SERRA.....	16
1.4 RISCHI INTERFERENZIALI: INQUINAMENTO ACUSTICO.....	17
1.5 RISCHI INTERNI IN UN CANTIERE AUTOSTRADALE.....	18
1.6 RISCHI ESTERNI IN UN CANTIERE AUTOSTRADALE	19
CAPITOLO 2 - CANTIERE VS VIABILITA'	27
2.1 INCIDENTI IN ITALIA E IN EUROPA	27
2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO IN AMBITO AUTOSTRADALE	35
2.3 SEGNALAMENTO.....	39
2.4 SEGNALETICA NEI CANTIERI FISSI	41
2.5 RIDUZIONE DEL NUMERO DI CORSIE	43
2.6 SEGNALETICA NEI CANTIERI MOBILI.....	45
CAPITOLO 3 - MODELLI DI STIMA DEL RISCHIO INCIDENTE IN PRESENZA DEL CANTIERE.....	49
3.1 HIGHWAY SAFETY MANUAL	49
3.1.1 HIGHWAY SAFETY MANUAL IN AMBITO AUTOSTRADALE	51
3.1.2 PANORAMICA DEL METODO PREDITTIVO	51
3.1.3 STIMA DELLA FREQUENZA TOTALE DEGLI INCIDENTI.....	55
3.1.4 SAFETY PERFORMANCE FUNCTION.....	56
3.1.5 FATTORI DI MODIFICA DELL'INCIDENTE (CRASH MODIFICATION FACTOR - CMF).....	61
3.1.6 HIGHWAY SAFETY MANUAL IN PRESENZA DEL CANTIERE	62
3.2 ANALISI DELLE MISURE PREVENTIVE (PROGETTO CEDR).....	63
3.2.1 CONFERENCE OF EUROPEAN DIRECTORS OF ROADS - CEDR CALL 2012.....	63
3.2.2 PROGETTO "APPROPRIATE SPEED SAVES ALL PEOPLE – ASAP"	64
3.2.3 CONFERENCE OF EUROPEAN DIRECTORS OF ROADS - CEDR CALL 2016.....	66
3.2.4 PROGETTO "INCURSION REDUCTION TO INCREASE SAFETY AT ROAD WORK ZONES – IRIS"	66

3.3 MODELLI DI PREVISIONE DEGLI INCIDENTI IN AMBITO EUROPEO (PROGETTO PRACT)	68
3.3.1 EMPIRICAL BAYES BEFORE – AFTER	70
3.3.2 MODELLI BINOMIALI NEGATIVI	72
3.3.3 FATTORI DI MODIFICA DEGLI INCIDENTI - CMF	73
CAPITOLO 4 - FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI AUTOSTRADALI	75
4.1 RELAZIONE TRA INCIDENTI E LUNGHEZZA DEL CANTIERE	75
4.2 RELAZIONE TRA INCIDENTI E DURATA DEL CANTIERE	78
4.3 RELAZIONE TRA INCIDENTI E IL TRAFFICO	79
4.4 RELAZIONE TRA INCIDENTI E LA VELOCITA'	82
4.5 RELAZIONE TRA INCIDENTI E CONDIZIONI METEO	84
4.6 RELAZIONE TRA INCIDENTI E CONDIZIONI DI ILLUMINAZIONE	88
4.7 RELAZIONE TRA INCIDENTI E CHIUSURA DELLA CORSIA	91
4.8 AREA DEL CANTIERE IN CUI AVVIENE L'INCIDENTE	94
CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI	105
APPENDICE 1. FATTORI CHE INFLUENZANO GLI INCIDENTI NELLE AUTOSTRADE	115
INDICE DELLE FIGURE	125
INDICE DELLE TABELLE.....	127
INDICE DELLE EQUAZIONI	128
BIBLIOGRAFIA	129

ABSTRACT

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di analizzare i rischi interferenziali che possono derivare dai cantieri autostradali. Le attività di costruzione o di manutenzione causano il restringimento della carreggiata, con il conseguente incremento dei problemi legati alla congestione del traffico. Nello studio, un'altra conseguenza che si andrà ad esaminare, riguarda i problemi legati all'inquinamento atmosferico ed acustico dovuti alla presenza delle aree di cantiere.

Tra tutti i rischi a cui sono esposti gli automobilisti, si è provveduto ad attenzionare quelli inerenti alla viabilità. Diversi studi hanno messo in evidenza una crescita del numero degli incidenti, nelle zone a ridosso dei cantieri autostradali, rispetto a quelle in cui il traffico non subisce nessun tipo di deviazione e di rallentamento. Si procede all'identificazione e alla valutazione dei pericoli che potrebbero comportare una diminuzione degli standard di sicurezza.

I fattori che maggiormente incidono sull'aumento della frequenza del numero delle collisioni sono: la durata e la lunghezza del cantiere, la velocità, il traffico, le condizioni meteorologiche e di illuminazione.

Segue un approfondimento dettagliato della normativa inerente agli schemi segnaletici da adottare nei cantieri fissi e mobili, con particolare riguardo alle procedure da seguire per l'installazione della segnaletica e per la riduzione del numero di corsie.

I sinistri rappresentano un'emergenza sociale che interessano tutti gli stati Europei. Per questa ragione, si è proceduto ad esaminare il numero di collisioni mortali e di vittime registrati nelle nazioni Europee più popolate. Di seguito, è stata effettuata un'analisi di dettaglio circa i tassi di mortalità osservati nei vari tronchi autostradali italiani.

Lo studio effettuato fino ad ora, è stato integrato da dei modelli predittivi, al fine di stimare l'incidentalità nelle autostrade. È possibile effettuare una previsione del numero di collisioni mediante l'utilizzo del modello statistico sviluppato dall'HSM (Highway Safety Manual).

Successivamente, attraverso il progetto PRACT, sono state esaminate le procedure volte a sviluppare dei modelli di previsione dei sinistri adottabili in tutta Europa.

Dopo aver analizzato i vari fattori e i metodi di stima, si è proceduto ad analizzare la distribuzione spaziale degli incidenti nelle zone adiacenti al cantiere.

INTRODUZIONE

Nel seguente lavoro di tesi, si è provveduto ad analizzare i rischi a cui gli utenti e i lavoratori sono esposti in un tronco autostradale soggetto a lavori.

L'apertura di un cantiere provoca una serie di disagi alla circolazione in quanto è responsabile della formazione delle code e aggrava il problema dell'inquinamento atmosferico.

Inizialmente, sono stati esaminati i rischi interferenziali che arrecano danni, non solo agli utenti dell'infrastruttura, ma anche alla popolazione che risiede in prossimità della stessa.

Pertanto, si è proceduto a studiare e a quantificare i costi esterni, associati a ciascun impatto, come l'emissione di gas serra, l'inquinamento acustico e atmosferico, e la congestione.

Oltre ai fattori di rischio già citati, alla chiusura al transito di una o più corsie è associato un aumento dell'incidentalità.

Diversi studi hanno dimostrato che la posa e la rimozione della segnaletica sono tra le fasi maggiormente critiche riguardo l'incolumità dei lavoratori e degli utenti. Analizzando le prescrizioni contenute nel Decreto Legislativo 22/01/2019, è stato possibile esaminare le misure di sicurezza che gli operatori sono chiamati ad adottare in modo da ridurre al minimo la probabilità di accadimento dei sinistri.

La priorità è individuare i pericoli, presenti nelle zone a ridosso del cantiere, che si possono tramutare in rischi per la sicurezza dei conducenti.

L'incidentalità è un problema che riguarda tutti gli stati Europei poiché le collisioni, registrate di anno in anno, causano migliaia di vittime e di feriti. Per analizzare in dettaglio la seguente tematica, si è proceduto a confrontare i dati degli incidenti mortali osservati nei cinque stati Europei più popolosi.

Di seguito, è stato effettuato un approfondimento rispetto ai tassi di mortalità registrati nelle autostrade italiane.

In un capitolo del documento di tesi è stata esaminata la normativa di riferimento da attuare nel caso di tronchi autostradali soggetti alle lavorazioni. In particolare, attraverso il Decreto Ministeriale 10 luglio 2002, è stato possibile analizzare le tipologie di segnalamento temporaneo da utilizzare nei cantieri fissi e mobili.

Gli ingegneri, tramite il modello di stima dell'Highway Safety Manual (HSM), sono in grado di stimare e di valutare le autostrade in termini di frequenza e di severità degli incidenti.

I modelli permettono di effettuare previsioni sul numero e sulla gravità dei sinistri e consentono di identificare le misure da mettere in atto per ridurre l'incidentalità.

I metodi predittivi dell'HSM si riferiscono al contesto statunitense. Per questo motivo, è stato preso in esame lo studio effettuato dai ricercatori del progetto PRACT, in quanto hanno sviluppato una procedura che consente di trasferire i modelli di previsione in ambito europeo.

In Europa, la problematica degli incidenti, nelle zone di lavoro, è stata presa in considerazione in progetti di ricerca come ASAP e IRIS. Il primo ha l'obiettivo di fornire buone pratiche e raccomandazioni su come gestire efficacemente la velocità nelle aree a ridosso del cantiere.

Le linee guida, sviluppate dal progetto IRIS, illustrano le strategie e le procedure che le varie autorità nazionali devono attuare per ridurre le incursioni delle vetture nelle zone di lavoro.

Diversi report hanno valutato le principali cause che comportano un incremento dell'incidentalità nelle autostrade. Le condizioni meteorologiche e di illuminazione, la velocità e i problemi di congestione del traffico influiscono sulla frequenza delle collisioni.

Successivamente, è stata condotta un'ampia trattazione sulle cause e sui fattori che riducono gli standard di sicurezza in prossimità del cantiere autostradale.

In aggiunta ai parametri considerati precedentemente, è stata analizzata la relazione che intercorre tra la durata e la lunghezza della zona di lavoro e i sinistri.

Il cantiere può essere suddiviso nelle seguenti cinque aree: di preavviso, di transizione, di lavoro, zona cuscinetto (buffer) e di chiusura.

In seguito, si è proceduto ad esaminare e ad indagare le ragioni per cui alcune zone sono maggiormente soggette agli incidenti.

CAPITOLO 1 - RISCHI INTERFERENZIALI

L'apertura di un cantiere autostradale comporta un incremento dei rischi a cui sono esposti i lavoratori e gli utenti.

In diversi studi, è stata osservata una correlazione tra l'incremento del numero degli incidenti e l'istituzione delle zone di lavoro.

È importante anche prendere in considerazione i costi esterni generati dalle aree di cantiere autostradali in quanto possono arrecare un danno alla popolazione.

Nel seguente lavoro di tesi, è stato possibile effettuare un'analisi e una quantificazione degli impatti causati dalle attività lavorative attraverso le Linee guida per la misura dei Costi Esterni nell'ambito del PON Trasporti 2000 – 2006 (1) e lo studio condotto dal Professore Romeo Danielis (2).

Il costo esterno rappresenta un effetto indiretto sull'ambiente sociale e naturale a causa delle attività di trasporto, di produzione o di consumo (2).

Le zone di lavoro in autostrada possono dare origine a danni e costi non intenzionali. Ad esempio, tali attività provocano dei danni all'ambiente urbano (qualità dell'aria e rumore), agli ecosistemi (piogge acide, effetto serra), alla salute ed alla vita dell'uomo (sinistri, malattie, infortuni) e perdite di tempo (congestione).

In particolare, la stima dei costi esterni viene effettuata per ciascun anno del periodo in esame (1). Nel caso di un'infrastruttura è importante comprendere l'intera fase di cantiere e il periodo di esercizio dell'opera. Generalmente, la vita utile delle infrastrutture è uguale a 30 anni, mentre potrà raggiungere i 50 anni nel caso di opere di particolare importanza.

I flussi di traffico vengono utilizzati per eseguire la valutazione dei costi esterni poiché la maggior parte degli impatti, sull'ambiente e sul territorio, dipendono dal numero di mezzi che percorrono l'autostrada.

È indispensabile considerare l'evoluzione tecnologica dei veicoli per effettuare la stima delle esternalità. Il parco circolante dei veicoli, con il passare del tempo, viene sostituito dall'immatricolazione di nuovi mezzi meno inquinanti. Per questa ragione, gli studiosi considerano le variazioni delle emissioni prodotte dai motori per quantificare i costi esterni riguardanti una data opera pubblica.

Altri fattori che influenzano le esternalità sono l'inflazione e la modifica dei prezzi relativi al quadro economico - finanziario del progetto (1).

1.1 RISCHI INTERFERENZIALI: CONGESTIONE DEL TRAFFICO

Il cantiere autostradale è la causa di molte interferenze alla circolazione delle vetture. Una delle conseguenze più note, come illustrato nella Figura 1.1, riguarda l'aggravarsi del problema della congestione.



Figura 1.1: esempio di congestione del traffico causato da un cantiere (3)

Considerando la capacità di una determinata autostrada e la relativa densità del traffico, la congestione si verifica quando le condizioni di marcia dei veicoli comportano un aumento dei tempi di percorrenza degli automobilisti.

Gli ingorghi, causati dalle zone di lavoro, generano i seguenti effetti (1):

- Aumento dei tempi di percorrenza;
- La congestione e la percentuale di veicoli pesanti condizionano il livello di sicurezza dell'infrastruttura;
- Incremento delle emissioni degli inquinanti a causa delle condizioni di marcia definite stop and go;
- Stress psico-fisico degli utenti.

La quantificazione del costo esterno, associato alla congestione, avviene utilizzando degli indicatori.

In genere, si fa riferimento alla variazione del tempo di percorrenza tra la situazione “senza” e “con intervento”. In questo caso, il periodo in cui vengono eseguiti i lavori autostradali coincide con lo scenario “con intervento”.

I tempi necessari per percorrere un dato tronco di autostrada dipendono dalla capacità dell'infrastruttura e dalla velocità delle vetture. Ovviamente, il restringimento della carreggiata comporta un decremento della capacità e della velocità dei mezzi di trasporto e quindi si assiste ad un incremento dei tempi di percorrenza a causa della formazione delle code.

Per la determinazione dei costi esterni inerenti alla congestione è necessario osservare diversi passaggi (1). Nel primo step, bisogna conoscere i flussi di traffico, prima e durante i lavori autostradali, e i rispettivi tempi di percorrenza necessari per transitare in un dato tratto.

In seguito, la differenza tra i volumi di traffico (passeggeri e merci), osservati nelle due situazioni, viene moltiplicata per il costo attribuito al tempo. L'unità di misura di quest'ultimo parametro è uguale a €/passeggeri*ora nel caso di utenti che percorrono l'autostrada per motivi di lavoro o di svago, mentre è pari a €/merci*ora qualora si consideri il trasporto merci.

A volte, non sono disponibili i dati sul numero di persone che viaggiano nel segmento autostradale in esame. Per ovviare a questo problema, si considera un tasso di occupazione media pari a 1.7 passeggeri/veicolo.

In ambito trasportistico, al tempo di viaggio vengono attribuiti diversi valori in base alle categorie di utenti che transitano nell'infrastruttura (1):

- Valore del tempo di lavoro;
- Valore del tempo libero;
- Valore del tempo dei pendolari;
- Valore del tempo delle merci.

Tra le quattro tipologie di viaggio citate precedentemente, la valorizzazione monetaria associata alla durata del tragitto dei pendolari o dei lavoratori è superiore rispetto alle altre due categorie di passeggeri.

La congestione è un fenomeno da attenzionare poiché interagisce negativamente con l'inquinamento atmosferico e acustico (4).

1.2 RISCHI INTERFERENZIALI: INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Il settore dei trasporti è uno dei più impattanti, in quanto è responsabile delle emissioni nell'atmosfera di diverse tipologie di inquinanti.

Le principali sostanze nocive, emesse dalla combustione dei motori a benzina, sono le seguenti (2):

- Ossidi di azoto (NO_x);
- Particolato (PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$);
- Monossido di carbonio (CO) derivante dalla combustione incompleta;
- Anidride carbonica (CO_2);
- Composti organici volatili (COV), anch'essi prodotti dalla combustione non completa. Essi comprendono gli HC leggeri e gli HC aromatici, come il benzene o altri composti aromatici policiclici;
- Piombo;
- Aldeidi e i clorofluorocarburi (CFC).

I motori diesel sono responsabili dell'emissione di ossidi di zolfo, tra cui l'anidride solforosa (SO_2).

Gli inquinanti, oltre a causare seri problemi all'apparato respiratorio e cardiocircolatorio, provocano dei danni anche alla vegetazione, al suolo e all'agricoltura, ai materiali e agli edifici (1).

I trasporti hanno un impatto sia sulle acque di superficie che su quelle di mare, dal momento che le infrastrutture alterano lo scolo delle acque e l'assetto idrogeologico (2).

Il costo esterno dell'inquinamento atmosferico si determina moltiplicando la variazione delle emissioni, tra la situazione "senza" e "con" intervento, per il costo (€/tonnellata inquinante iesimo).

In genere, il calcolo viene effettuato per ciascun anno di esercizio dell'autostrada, ma è opportuno considerare anche gli anni di cantiere per prendere in considerazione l'impatto globale delle emissioni prodotte dai mezzi di trasporto.

Nel periodo in cui l'autostrada è soggetta alle attività cantieristiche, si osserva un'intensa movimentazione di mezzi pesanti. Il costo esterno, riguardante l'inquinamento atmosferico, si determina prendendo in considerazione pure le emissioni di inquinanti causate dagli autocarri.

Secondo la Direttiva UE 2016/2284, le case automobilistiche sono obbligate a sviluppare nuove tecnologie per contenere le emissioni di scarico delle vetture. Nel periodo di valutazione, è importante considerare la variazione degli inquinanti a causa dell'evoluzione del parco macchine.

L'Equazione 1.1 serve a determinare la variazione delle emissioni annue per ciascun inquinante:

$$\text{Variazione delle emissioni (tonnellate)} = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{TRAFFICO CON INTERVENTO} \\ \text{(es veicoli*km)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{FATTORE DI EMISSIONE CON INTERVENTO} \\ \text{(g / unità di traffico)} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{TRAFFICO SENZA INTERVENTO} \\ \text{(es veicoli*km)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{FATTORE DI EMISSIONE SENZA INTERVENTO} \\ \text{(g / unità di traffico)} \end{array} \right)}{10^6}$$

Equazione 1.1: calcolo della variazione delle emissioni (1)

Nell'ultimo passaggio, i costi esterni relativi ai singoli inquinanti vengono sommati per determinare il costo complessivo dell'esternalità.

Diverse volte, per studiare l'impatto dell'inquinamento atmosferico, viene impiegato un altro metodo di stima chiamato "dose-risposta". Utilizzando questa metodologia, è possibile effettuare una stima della mortalità e morbilità a partire dalle concentrazioni degli inquinanti (4).

Il cantiere, oltre a causare il restringimento della carreggiata, dà origine ad un incremento del numero di mezzi pesanti che transitano in un determinato segmento autostradale e di conseguenza si assiste ad un aumento dei rischi a cui sono esposti gli utenti e gli operai. La congestione del traffico e l'impiego in modo massivo delle macchine operatrici in cantiere aggravano il problema dell'effetto serra.

1.3 RISCHI INTERFERENZIALI: GAS SERRA

In generale, i mezzi di trasporto sono responsabili delle emissioni di diversi gas serra, come il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O). Nel valutare l'impatto, in termini di gas serra, provocato dai trasporti, si esamina soltanto la variazione delle emissioni di anidride carbonica (CO₂) tra la situazione "senza" e "con intervento".

La condizione "senza" intervento si riferisce al periodo precedente all'inizio dei lavori, mentre la fase delle attività cantieristiche corrisponde alla situazione "con intervento".

I costi esterni dei gas serra possono essere quantificati mediante l'utilizzo di due metodi. Nel primo criterio, si procede alla quantificazione dell'esternalità attraverso la valutazione dei danni associati ai cambiamenti climatici. Oggigiorno, la seconda metodologia è quella più utilizzata e consiste nel valutare i costi necessari per ridurre le emissioni degli inquinanti entro certi livelli prefissati (1).

La prima fase prevede di determinare il quantitativo di CO₂ emesso prima e durante l'esecuzione dei lavori. Ovviamente, le emissioni dipendono dal numero di veicoli che transitano nell'autostrada in esame e dai grammi di CO₂ prodotti da ogni unità di traffico.

Di seguito, la variazione delle emissioni di CO₂ si determina tramite l'Equazione 1.2:

$$\text{Variazione delle emissioni CO}_2 \text{ (tonnellate)} = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{TRAFFICO CON INTERVENTO} \\ \text{(es veicoli*km)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{FATTORE DI EMISSIONE CON INTERVENTO} \\ \text{(g CO}_2 \text{/ unità di traffico)} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{TRAFFICO SENZA INTERVENTO} \\ \text{(es veicoli*km)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{FATTORE DI EMISSIONE SENZA INTERVENTO} \\ \text{(g CO}_2 \text{/ unità di traffico)} \end{array} \right)}{10^6}$$

Equazione 1.2: calcolo della variazione delle emissioni dei gas serra (1)

Nell'ultimo step, si determina il costo esterno moltiplicando il risultato ottenuto nella precedente formula per il valore monetario attribuito ad una tonnellata di anidride carbonica.

1.4 RISCHI INTERFERENZIALI: INQUINAMENTO ACUSTICO

Nella valutazione dei rischi, è indispensabile prendere in considerazione gli impatti causati dai volumi di traffico e dalle attività cantieristiche rispetto all'inquinamento acustico.

Questa problematica deve essere attenzionata nel caso di tronchi autostradali localizzati a ridosso di aree urbane.

L'inquinamento acustico è un fattore di rischio che può generare diversi disturbi alla salute umana. Ad esempio, gli ambienti molto rumorosi sono responsabili della comparsa di problemi uditivi (ipoacusia) e cardiovascolari nei lavoratori.

La rumorosità genera fastidio ai conducenti e causa un deficit di attenzione alla guida e una sensazione di discomfort.

Per determinare l'impatto, provocato dalle macchine operatrici e dal traffico, si utilizza l'indicatore acustico L_{den} . Quest'ultimo parametro si determina facendo la somma ponderata dei livelli sonori osservati durante il periodo diurno (07:00 – 19:00), serale (19:00 – 23:00) e notturno (23:00 – 7:00) (1).

Per valutare l'esternalità in questione, è necessario conoscere i livelli di rumore nelle situazioni "con e senza intervento". Generalmente, questi dati sono noti a seguito della valutazione d'impatto ambientale.

Successivamente, si determina il numero di abitanti esposti, a livelli acustici molto elevati, prendendo in considerazione le fasce di pertinenza. Ad esempio, nel caso delle autostrade, l'ampiezza della zona da esaminare è pari a 250 metri, mentre per le strade extraurbane secondarie di tipo C2 si riduce a 150 metri.

Il costo esterno totale si calcola moltiplicando il numero di abitanti esposti al rumore per il valore monetario associato a ciascuna persona disturbata.

1.5 RISCHI INTERNI IN UN CANTIERE AUTOSTRADALE

Gli operai impiegati nel cantiere, oltre ai fattori di rischio citati precedentemente, sono esposti ad altre situazioni potenzialmente pericolose che potrebbero originare dei danni ai lavoratori.

Secondo l'articolo 28 del Decreto Legislativo 81/2008 (5), nella valutazione dei rischi è importante selezionare le opportune attrezzature di lavoro e le sostanze o miscele chimiche da impiegare, nonché decidere la sistemazione dei luoghi di lavoro ottimale in modo da salvaguardare la salute e la sicurezza degli operatori.

In un cantiere autostradale, è emerso che uno dei principali fattori di rischio per i lavoratori riguarda la possibilità di essere investiti da parte dei mezzi in opera. Per evitare tutto ciò, come ampiamente discusso nel report dell'Inail (6), è indispensabile predisporre un'adeguata segnaletica, verificare la presenza di ostacoli fissi o di altri elementi in grado di condizionare il movimento dei mezzi, i conducenti del mezzo devono rispettare i limiti di velocità ed infine tutti i lavoratori sono tenuti ad attenzionare i sistemi di segnalazione sonora degli automezzi (6).

Nella valutazione dei rischi è necessario considerare la caduta dall'alto degli operai quando, ad esempio, i cantieri sono localizzati nei pressi di un ponte o di una scarpata. In queste circostanze, i lavoratori potrebbero subire danni estremamente gravi o addirittura mortali.

Nelle zone di lavoro autostradali si osserva un'alta incidenza degli infortuni poiché gli operatori, in base al tipo di attività, potrebbero essere soggetti a tagli, abrasioni o lievi ustioni.

Un altro fattore di rischio da considerare riguarda la proiezione di materiali e la produzione di grandi quantità di polveri a seguito di demolizioni o tagli di pavimentazione. L'esposizione alle polveri comporta un incremento delle probabilità di incorrere a danni all'apparato respiratorio mentre la proiezione di sassi potrebbe provocare delle ferite o delle contusioni anche profonde.

In genere, durante le attività cantieristiche, vengono impiegate diverse sostanze pericolose come, ad esempio, cemento, bitume o altre resine. Quando non è possibile sostituirle con altre sostanze meno pericolose, i lavoratori sono obbligati ad indossare i dispositivi di protezione individuali per minimizzare gli effetti nocivi sulla salute.

L'impiego di macchine rumorose, per periodi elevati, può provocare la perdita della capacità uditiva degli operai mentre l'esposizione prolungata alle vibrazioni, per l'uso di strumenti vibranti, può causare la comparsa di disturbi nel distretto mano-braccio (6).

Attraverso le attività di formazione, informazione e addestramento è possibile limitare i rischi sopra citati in quanto i lavoratori sono in grado di attuare le corrette procedure di sicurezza.

1.6 RISCHI ESTERNI IN UN CANTIERE AUTOSTRADALE

La rete autostradale, con il passare del tempo, necessita di interventi manutentivi ordinari e straordinari in quanto gli elevati flussi di traffico potrebbero compromettere le prestazioni della pavimentazione della carreggiata.

Normalmente vengono eseguiti diversi lavori sui tronchi autostradali come, ad esempio, la riparazione o la sostituzione delle barriere di sicurezza e della segnaletica verticale oppure il ripristino della capacità di deflusso delle opere idrauliche.

Purtroppo, l'apertura di un cantiere comporta un incremento della probabilità di accadimento dei sinistri tra le vetture che percorrono l'autostrada soggetta ai lavori e anche tra i veicoli e le macchine operatrici.

L'aumento dell'incidentalità è dovuto ad una serie di pericoli che si osservano nell'area a ridosso della zona di lavoro e di conseguenza si assiste ad un incremento del rischio.

Secondo l'articolo 2 del D, Lgs. 81/2008 (5), il rischio è la probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione.

L'obiettivo degli ingegneri consiste nel ridurre al minimo il rischio in autostrada mediante l'adozione di misure preventive, atte a ridurre la frequenza degli incidenti, e di misure protettive in modo da minimizzare la gravità delle collisioni.

Diversi studi hanno messo in evidenza una crescita del numero degli incidenti nelle zone a ridosso dei cantieri autostradali rispetto a quelle in cui il traffico non subisce nessun tipo di deviazione e di rallentamento.

Nel corso dei lavori autostradali è emerso che le fasi più pericolose per gli operatori stradali sono l'inizio e la fine del cantiere, rispettivamente durante la collocazione e la rimozione della segnaletica temporanea. Gli operai non si trovano all'interno dell'area di cantiere e quindi presentano una maggiore probabilità di subire un incidente in quanto il conducente può essere distratto o percorre quel tratto di autostrada ad una velocità elevata.

La Figura consecutiva (Figura 1.2) riporta un esempio inerente alle procedure da seguire per chiudere al transito una corsia di marcia:

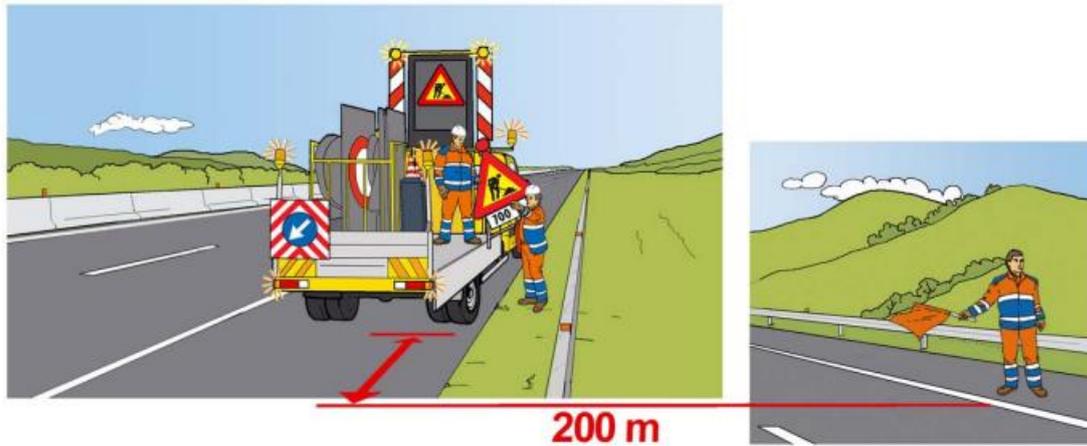


Figura 1.2: chiusura della corsia di marcia – scarico ed installazione del segnale lavori sul margine destro (7)

Il Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici (8), differenziati per categoria di strada, ha l'obiettivo di descrivere i principi del segnalamento temporaneo, il posizionamento e la rimozione dei segnali nei cantieri fissi e mobili.

In autostrada, l'installazione e la rimozione dei segnali risulta ancora più complessa sulla corsia di sinistra e sullo spartitraffico (8) poiché le vetture percorrono la corsia di sorpasso a velocità maggiori rispetto a quella di destra.

È necessario, inoltre, che gli operai incaricati a svolgere la mansione sopra citata ricevano un'adeguata formazione specifica con l'obiettivo di ridurre al minimo gli errori riconducibili a loro.

Secondo il Decreto Legislativo 22/01/2019 (9), tutti gli addetti che sono costretti a spostarsi a piedi per la posa, l'affissione e la rimozione della segnaletica devono essere seguiti, ad una certa distanza di sicurezza, da un autoveicolo in modo da preservarli dal rischio di investimento accidentali. Rimane una procedura assai pericolosa dal momento che l'autoveicolo che segue l'operaio potrebbe essere tamponato per poi coinvolgere e ferire il lavoratore nel caso in cui non venga rispettata l'opportuna distanza di sicurezza.

In questa fase non è presente nessuna protezione laterale e quindi il lavoratore potrebbe subire un incidente a seguito di uno sbandamento veicolare nella corsia adiacente causato anche dalla mancata conoscenza del nuovo assetto autostradale per la presenza del cantiere stesso.

La sosta, o anche la sola fermata, del veicolo operativo è consentita pure per effettuare verifiche e controlli di rapida esecuzione e per la segnalazione di pericolo all'utenza (ad esempio, devono essere rimossi degli ostacoli dalla carreggiata) (9).

È preferibile eseguire la fermata del mezzo operativo in zone ad ampia visibilità come la banchina, la corsia di emergenza, il piazzale di sosta o l'interno delle aree di cantiere opportunamente delimitate.

I rischi per la sicurezza aumentano a dismisura tutte le volte in cui la sosta viene effettuata in zone non consentite dal Decreto Ministeriale 2019 come, ad esempio, nei pressi di dossi, di curve o all'ingresso e all'uscita da un tunnel in quanto i conducenti non hanno il tempo necessario per individuare il pericolo e frenare. In questi casi potrebbero essere coinvolti non solo gli operai e i loro mezzi operativi ma anche gli utenti autostradali con una elevata probabilità di generare tamponamenti a catena.

Prima di ogni fermata e durante gli spostamenti lenti, il conducente è tenuto ad osservare il traffico, tramite lo specchio retrovisore, e ad utilizzare i dispositivi supplementari a luce lampeggiante e gli indicatori di direzione (9).

Il mancato rispetto delle precedenti prescrizioni sommate alle volte in cui non è possibile evitare il carico o lo scarico di materiale, l'apertura delle portiere o le operazioni di discesa e di salita degli operai dal veicolo, nella parte di carreggiata aperta al traffico, provoca una diminuzione degli standard di sicurezza.

La Figura 1.3 mette in evidenza la corretta procedura di discesa e salita dal mezzo:

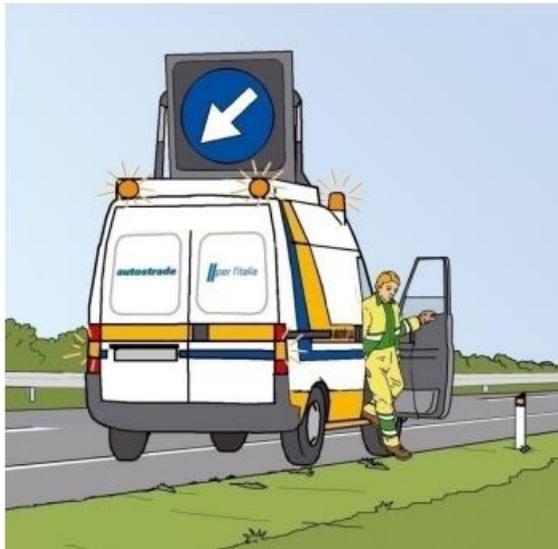


Figura 1.3: discesa e salita dal mezzo (7)

Nelle zone di lavoro autostradali, gli automobilisti devono essere adeguatamente informati circa il tipo di cantiere o il tipo di deviazione presente in modo che possano adottare un comportamento più prudente.

La mancanza della segnaletica oppure nell'eventualità che i segnali siano coperti dalla vegetazione o da altri ostacoli può causare un incremento del numero dei sinistri.

In genere, nei pressi del cantiere, la presenza di almeno un moviere comporta una diminuzione dei rischi poiché il guidatore presterà maggiore attenzione al pericolo presente in zona e conseguentemente ridurrà la velocità.

Di seguito, è riportata la Figura 1.4 che illustra l'operazione di sbandieramento da parte di un lavoratore:

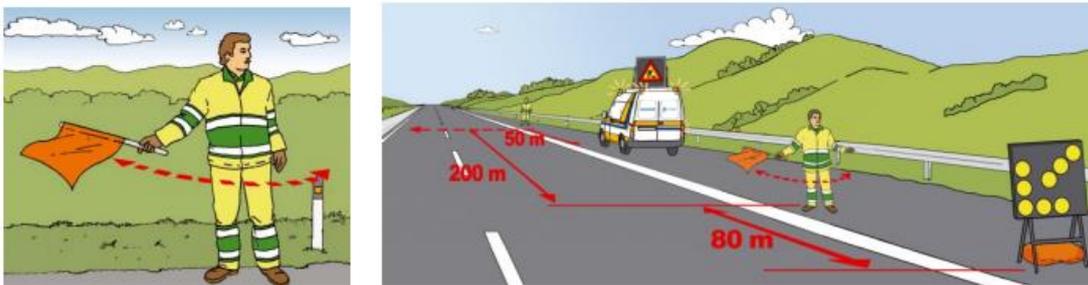


Figura 1.4: sbandieramento (7)

È consentito chiudere al traffico una corsia della galleria per eseguire delle lavorazioni ma, per minimizzare gli eventi pericolosi, bisogna garantire un'ottima illuminazione all'interno del tunnel. In caso contrario, gli operai sono maggiormente esposti al rischio di essere feriti dal momento che potrebbero non essere visti dagli automobilisti anche a causa della scarsa visibilità dovuta all'innalzamento delle polveri.

A conferma di ciò, un altro fattore da attenzionare nella valutazione dei rischi riguarda il sollevamento delle polveri soprattutto negli ambienti confinati come le gallerie. Le polveri, oltre ad originare un decremento della visibilità, causano anche un peggioramento delle condizioni di aderenza della pavimentazione andando così ad incrementare il numero degli incidenti.

Quando i mezzi utilizzati in cantiere non vengono puliti, prima della loro uscita dall'area di lavoro, c'è il rischio di sporcare il manto stradale di oli, solventi e fango. Le operazioni di pulizia dei veicoli operativi sono di primaria importanza poiché la perdita di aderenza è la causa di moltissimi tamponamenti.

Nei pressi e a ridosso della zona di lavoro si è riscontrata una correlazione tra i tassi di incidentalità e la congestione. Ovviamente l'apertura di un cantiere causa il restringimento della carreggiata e pertanto è possibile la formazione di code.

In queste circostanze gli automobilisti sono costretti a decelerare e se la vettura che segue viaggia ad una velocità molto maggiore rispetto al veicolo che lo precede allora aumenta di molto il rischio di tamponamento.

Percorrere l'area di cantiere a velocità elevate rappresenta uno dei fattori che maggiormente incide sull'incremento dei rischi dal momento che l'automobilista ha alte probabilità di perdere il controllo del volante e di tamponare gli altri veicoli in marcia o i mezzi meccanici localizzati all'interno della zona di lavoro.

Nel valutare i rischi è necessario considerare l'entrata e l'uscita dei mezzi dal cantiere poiché potrebbero causare degli incidenti con i veicoli già in transito nell'autostrada, già ristretta dal cantiere. Per le strade aventi almeno due corsie per senso di marcia, come nelle autostrade, se la zona di lavoro è collocata sulla corsia di sorpasso, l'uscita dal cantiere avverrà al termine dello stesso (9).

Esistono dei casi dove il conducente della macchina operatrice è impossibilitato ad uscire dalla parte terminale della zona di lavoro e quindi si immette sulla corsia di marcia in maniera graduale.

La combinazione di diversi eventi pericolosi come, ad esempio, la mancata osservanza delle norme da parte dell'autista e una guida non prudente da parte dell'automobilista, potrebbe dare origine ad un incidente di gravi proporzioni. È un aspetto da non sottovalutare in quanto esiste il rischio di coinvolgere dei mezzi che trasportano sostanze molto pericolose e facilmente infiammabili.

Un'altra conseguenza degli incidenti, nei cantieri autostradali, riguarda l'urto dei veicoli contro la barriera che delimita la zona di lavoro. In questi casi, potrebbero subire gli esiti negativi del sinistro anche gli operai all'interno dell'area di lavoro. La barriera è presente solo per cantieri di lunga durata, per periodi limitati non è prevista e quindi il veicolo può facilmente entrare dentro la zona di lavoro e ferire gli operai.

In base al tipo di lavoro effettuato in autostrada esiste il rischio inerente alla proiezione di materiali dall'area di cantiere. La presenza di pietrisco, ghiaia o altri oggetti sulla carreggiata comporta un incremento dell'incidentalità.

Gli ingegneri, in fase di progettazione, devono analizzare le diverse tipologie di deviazione del traffico e scegliere quella che assicura i maggiori standard di sicurezza.

Per motivi di sicurezza, l'inizio dello scambio dovrà essere situato ad una distanza maggiore di 200 metri dalla fine del raccordo obliquo di chiusura della corsia (8). La non corretta localizzazione dello scambio rappresenta un fattore di rischio in quanto l'utente sarebbe costretto ad effettuare le manovre in brevi istanti.

La Figura successiva (Figura 1.5) riporta un esempio di sbarramento per deviazione su carreggiata opposta:

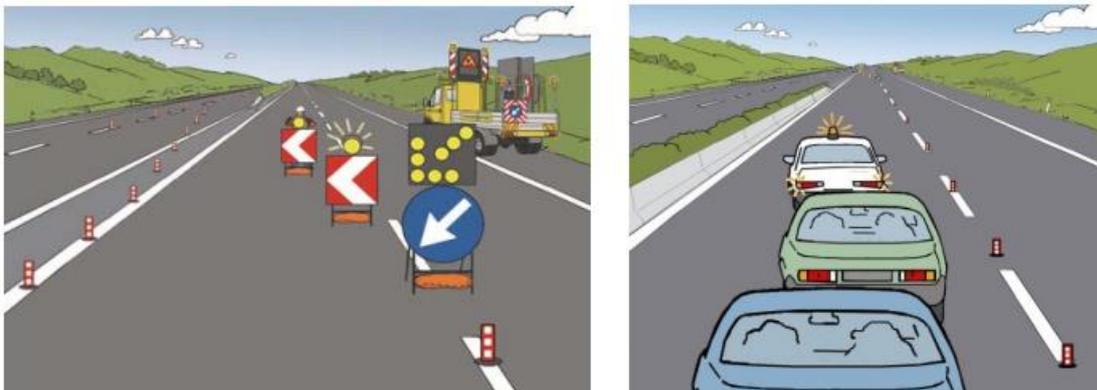


Figura 1.5: sbarramento per deviazione su carreggiata opposta (7)

Di solito, i lavori subiscono una sospensione quando le condizioni meteorologiche sono avverse. Ad esempio, i banchi di nebbia fitta o le precipitazioni molto abbondanti causano disagi alla circolazione dei mezzi e di conseguenza la probabilità di accadimento degli incidenti aumenta notevolmente.

In conclusione, le condizioni climatiche non ottimali e la presenza del cantiere arrecano una diminuzione della qualità della guida in quel determinato tronco di autostrada.

A volte i lavori vengono eseguiti anche durante le ore notturne ma è necessario prestare molta attenzione al problema dell'abbagliamento. I fari utilizzati all'interno del cantiere devono essere disposti in modo da salvaguardare la marcia degli utenti.

Nella valutazione dei rischi, quando il cantiere è collocato in tratti autostradali a ridosso di centri urbani, è indispensabile considerare anche il fattore rumore. Per evitare tutto ciò, è consigliato sospendere le attività lavorative nel corso delle ore notturne.

La Tabella 1.1 riporta, per ciascun fattore di rischio preso in esame, la normativa di riferimento, i metodi di misura e una breve descrizione:

Fattori di rischio	Normativa di riferimento	Metodi di misura	Descrizione
Inquinamento atmosferico	D. Lgs. 155/2010	Misurazione inquinanti	Gli inquinanti causano seri danni alla salute e all'ambiente
Congestione del traffico	D. M. 12/04/1995	Volume traffico	Gli ingorghi causano un aumento dei tempi di percorrenza, un incremento delle emissioni degli inquinanti e condizionano il livello di sicurezza dell'autostrada
Fornitura, posa, rimozione segnaletica	D. M. 10/07/2002 D. L. 22/01/2019	Distanza tra i segnali	Le operazioni di fornitura, posa e rimozione della segnaletica sono le fasi più pericolose per gli operatori stradali
Rumore	D. Lgs. 81/08 (Titolo VIII Capo II)	Livello sonoro [dB]	L'impiego di macchine rumorose può provocare la perdita della capacità uditiva degli operai e comporta una diminuzione dell'attenzione alla guida
Sostanze pericolose	D. Lgs. 81/08 (Titolo IX Capo I)	Valore limite di esposizione professionale	Durante i lavori vengono utilizzati diverse sostanze pericolose come il cemento, il bitume e le resine
Caduta dall'alto	D. Lgs. 81/08 (Titolo IV Capo II)	Quota dei lavori	È importante valutare questo rischio per altezze superiori ai 2 metri (ad esempio, nel caso dei lavori in un ponte)
Incidentalità	Codice della Strada	Modello statistico HSM Modello Binomiale Negativo	Nelle zone soggette ai lavori si osservano tassi di incidentalità maggiori
Entrata ed uscita dal cantiere	D. L. 22/01/2019	Localizzazione ingresso/uscita dei mezzi	L'entrata ed uscita dei mezzi aumenta il rischio di incidenti
Localizzazione dello scambio	D. M. 10/07/2002	Distanza tra l'inizio dello scambio e la fine del raccordo obliquo di chiusura della corsia	La non corretta localizzazione dello scambio rappresenta un fattore di rischio per gli utenti

Tabella 1.1: fattori di rischio in un cantiere autostradale

CAPITOLO 2 - CANTIERE VS VIABILITA'

I cantieri autostradali comportano una riduzione degli standard di sicurezza poiché gli utenti sono esposti a molti rischi.

Le collisioni rappresentano un'emergenza sociale che riguarda tutti gli stati Europei in quanto causano un elevato numero di morti e di feriti. In questo capitolo, sono stati esaminati i sinistri mortali osservati nelle nazioni più popolate dell'Unione Europea e nel dettaglio quelli registrati nella rete autostradale italiana.

Successivamente, attraverso la normativa di riferimento, si è proceduto ad esaminare gli schemi segnaletici da adottare per i cantieri fissi e mobili.

2.1 INCIDENTI IN ITALIA E IN EUROPA

Un incidente stradale, secondo la definizione fornita dall'Organizzazione mondiale della sanità (10), è uno scontro che coinvolge almeno un veicolo su una strada pubblica.

Il legislatore, nel corso degli anni, ha apportato diverse modifiche al Codice della Strada per ridurre al minimo il numero delle collisioni.

Ogni anno nell'Unione Europea si registrano migliaia di incidenti mortali. Ad esempio, attraverso il Rapporto statistico annuale sulla sicurezza stradale nell'UE 2021 (11), si evince che nel corso dell'anno 2012 il numero di sinistri mortali è stato pari a 24426 mentre nel 2020 tale valore è diminuito a 18093.

Purtroppo, i morti superano gli incidenti fatali poiché il numero di vittime per sinistro potrebbe essere maggiore di uno.

In questo capitolo è stato effettuato un confronto dei dati provenienti dai 5 Paesi più popolosi dell'Unione Europea (Italia, Germania, Francia, Spagna e Polonia) riguardo al numero totale di collisioni mortali e di vittime. Nell'analisi in questione, gli incidenti e i morti fanno riferimento a tutte le modalità di trasporto.

Le due Figure sottostanti (Figura 2.1 e 2.2) mettono in evidenza il numero di sinistri fatali e di morti osservati, nelle cinque nazioni citate precedentemente, in un periodo compreso tra il 2012 e il 2020:

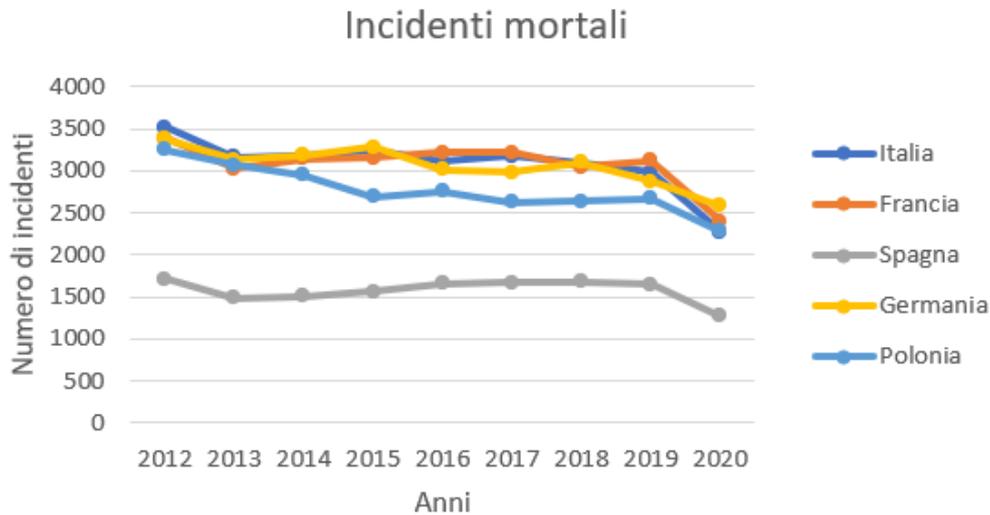


Figura 2.1: numero di incidenti mortali in Italia, Francia, Spagna, Germania e Polonia (11)

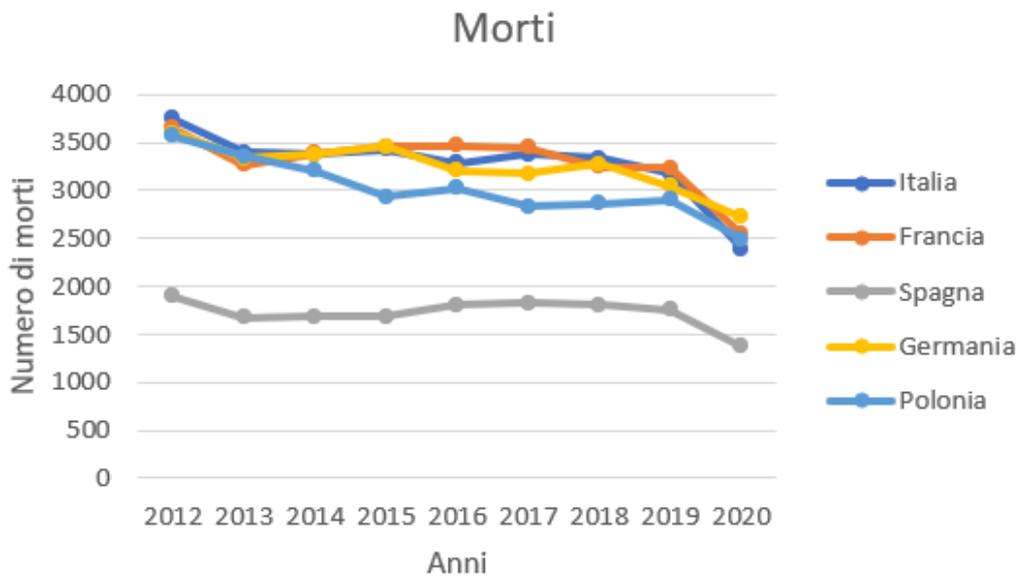


Figura 2.2: numero di vittime in Italia, Francia, Spagna, Germania e Polonia (11)

Dai due precedenti grafici, è possibile constatare una tendenza alla diminuzione degli incidenti e dei morti. Nel 2020, come previsto, il decremento è stato più accentuato dal momento che le restrizioni introdotte, a seguito della pandemia da Covid-19, hanno portato ad una diminuzione dei flussi di traffico.

Un'altra considerazione può essere effettuata dopo aver rapportato il numero di sinistri e di vittime, osservate in ciascun Stato, rispetto alla propria popolazione.

Ad esempio, è possibile dedurre che le strade italiane siano molto più pericolose in confronto a quelle tedesche in quanto la popolazione della Germania è di gran lunga superiore rispetto a quella dell'Italia.

In Polonia, invece, i sinistri e le vittime accertate annualmente sono paragonabili a quelle registrate nei tre Paesi più popolati (Germania, Francia ed Italia), anche se la popolazione polacca è assai inferiore rispetto a quella italiana, francese o tedesca. Si evince che i tassi di incidentalità in Polonia sono maggiori in paragone alle altre quattro Nazioni.

I dati italiani e francesi sono molto simili e di conseguenza si desume che le strade del Paese transalpino sono leggermente più sicure poiché il numero di abitanti è superiore di qualche milione in confronto all'Italia.

La Spagna registra i valori più bassi di collisioni e di morti.

Nel seguito, vengono analizzate soltanto le collisioni che vedono coinvolti gli autoveicoli, i mezzi pesanti, i furgoni aventi una massa inferiore a 3.5 tonnellate, i bus e i pullman turistici. Sono stati presi in considerazione soltanto queste modalità di trasporto in quanto agli altri tipi di veicolo (ciclomotori, biciclette ecc.) non è permesso accedere in autostrada.

La Figura 2.3 riporta il numero di morti causati da tamponamenti che vedono coinvolti i mezzi citati in precedenza:

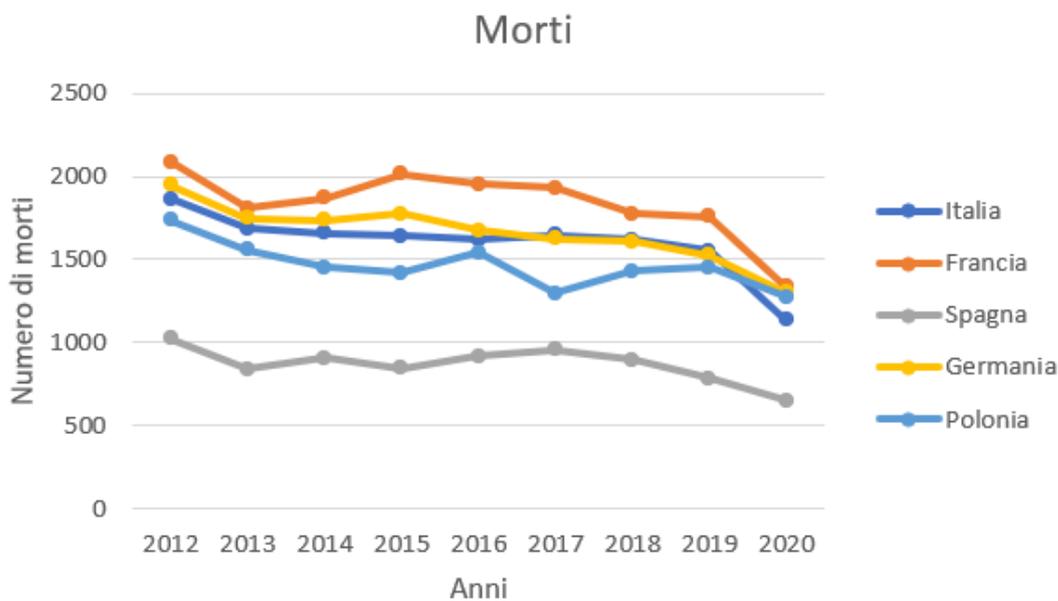


Figura 2.3: numero di morti causati da tamponamenti che vedono coinvolti gli autoveicoli, i mezzi pesanti, i furgoni aventi una massa inferiore a 3.5 tonnellate, i bus e i pullman turistici (11)

Valgono sempre le considerazioni fatte precedentemente poiché, nel corso degli anni, si assiste ad una diminuzione delle fatalità.

La Spagna presenta i dati migliori, mentre il numero di vittime nelle strade francesi è il più alto rispetto a tutte le altre nazioni prese in esame.

In Italia, l'Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori (Aiscat) (12) redige dei notiziari, a cadenza trimestrale, inerenti alle statistiche autostradali.

In un periodo di tempo, compreso tra il 1970 e il 2020, si hanno informazioni sul numero di persone decedute per colpa degli incidenti autostradali. Nello studio si computano soltanto le persone morte all'atto o comunque entro trenta giorni dal sinistro.

Viene effettuata una distinzione tra le collisioni che interessano i veicoli "leggeri" e quelli "pesanti". Secondo la definizione data da Aiscat (12), i veicoli "leggeri" sono i motocicli e gli autoveicoli a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell'asse anteriore, inferiore a 1.30 metri. Le vetture "pesanti", invece, comprendono sia le autovetture a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell'asse anteriore, superiore a 1.30 metri e sia tutti gli autoveicoli a tre o più assi.

Dalla Figura sottostante (Figura 2.4) è possibile osservare, nel corso degli anni, il numero di persone decedute a causa delle collisioni tra i veicoli "leggeri":

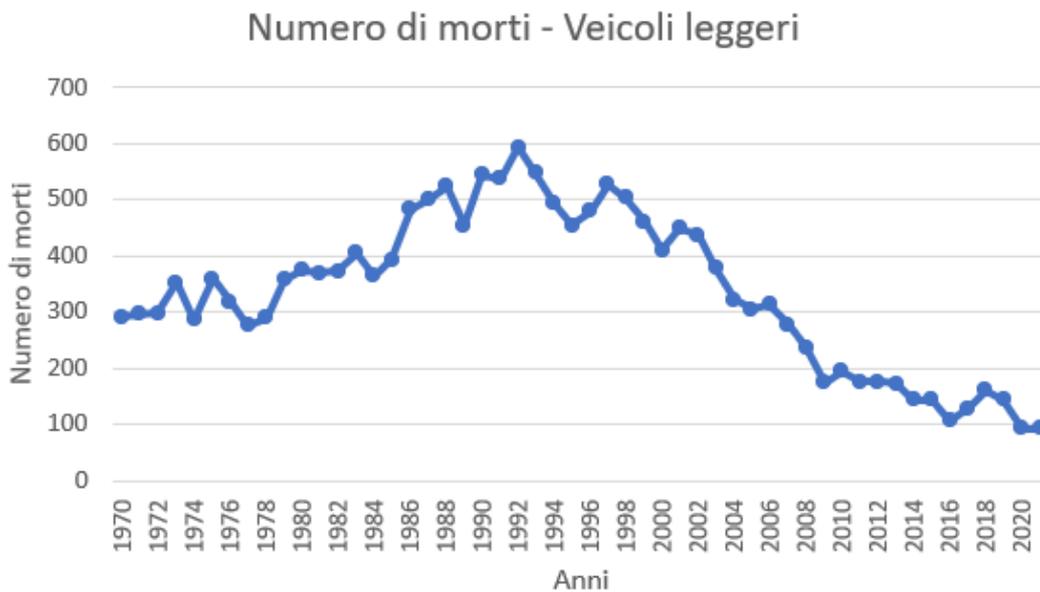


Figura 2.4: numero di morti nelle autostrade italiane – veicoli leggeri (12)

La Figura 2.5 mette in evidenza il numero di utenti che hanno riportato delle lesioni fatali dopo essere stati coinvolti in incidenti fra veicoli “pesanti”:

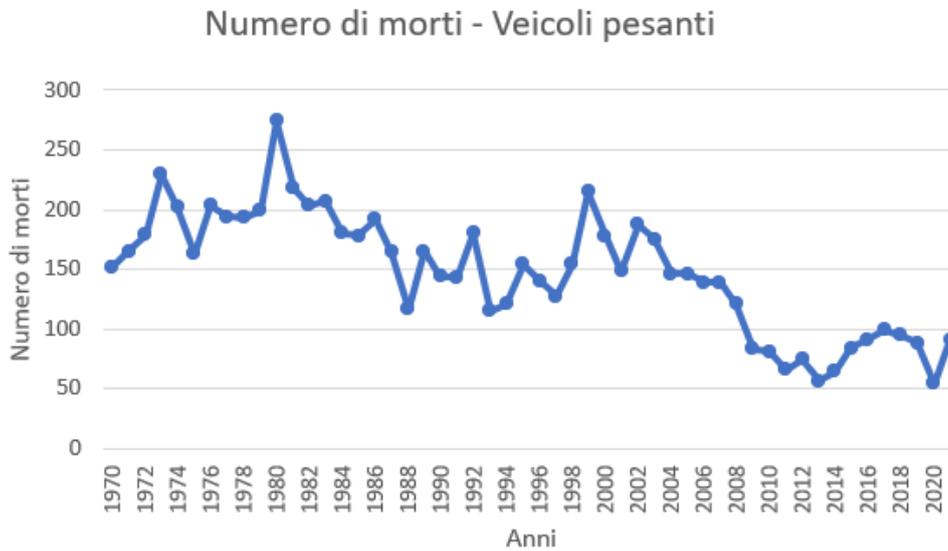


Figura 2.5: numero di morti nelle autostrade italiane – veicoli pesanti (12)

Sommando il numero totale di vittime registrate nella rete autostradale italiana, è possibile ottenere il seguente grafico (Figura 2.6):

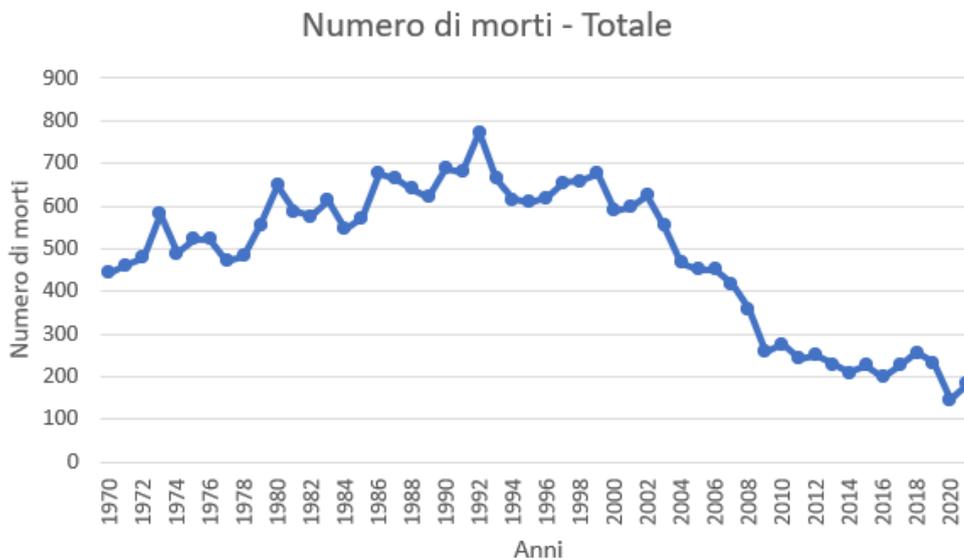


Figura 2.6: numero totale di morti nelle autostrade italiane (12)

Nelle autostrade italiane, l'anno in cui si sono contati più decessi è stato il 1992. Analogamente a quanto accaduto in tutta Europa, il numero più basso di vittime si è registrato nel 2020 a seguito della diminuzione del traffico dovuta dalla pandemia COVID-19.

Dal 1970 al 1992 si osserva una tendenza all'aumento degli utenti deceduti, dopo essere stati coinvolti nelle collisioni, mentre si riscontra un trend positivo a partire dal 1993. Nella decade compresa tra il 2010 e il 2020, il numero delle vittime è circa la metà rispetto al periodo che va dal 1990 al 2000.

La rete autostradale italiana è gestita e controllata da diverse società concessionarie come Autostrade per l'Italia (ASPI), ASTM S.p.A., Autovie Venete S.p.A., Consorzio per le Autostrade Siciliane ecc.

Nel notiziario Aiscat (12), sono allegati i dati sul numero di incidenti e di morti verificatisi nel corso di un determinato anno. Le statistiche di Aiscat riportano i tassi di fatalità, a seguito dei sinistri, registrati nelle autostrade gestite sia da ASPI che da altre società.

I tassi di mortalità si determinano dividendo il numero di morti, osservati in una data autostrada, rispetto al volume di traffico espresso in veicoli-km in milioni. In questo modo, è possibile effettuare un confronto tra i tassi ottenuti per le diverse autostrade, in quanto sono stati tutti normalizzati rispetto al numero di mezzi di trasporto che transitano in 1 km di tronco autostradale.

Successivamente, in un periodo compreso tra il 2015 e il 2021, è stato determinato il valore medio del tasso di mortalità delle autostrade facenti parte delle seguenti società concessionarie:

- ASPI;
- ASTM S.p.A.;
- Autostrada Brescia-Verona-Vicenza-Padova S.p.A.;
- Strada dei Parchi S.p.A.;
- Consorzio per le Autostrade Siciliane.

La Figura 2.7 riporta i tassi medi annuali di mortalità rilevati in un intervallo temporale compreso tra il 2015 e il 2021:

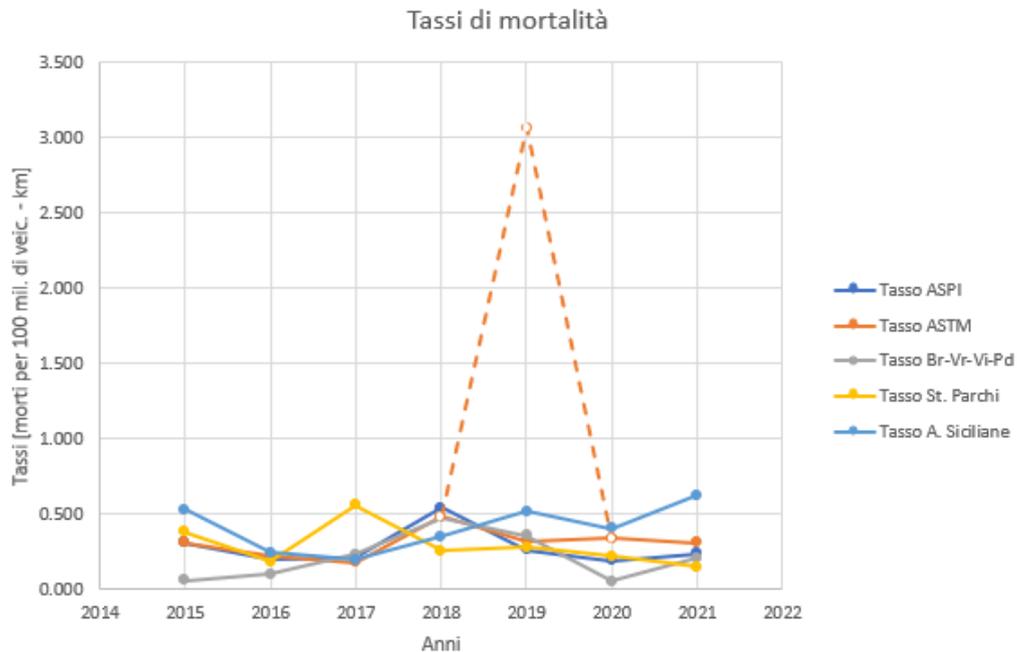


Figura 2.7: tassi di mortalità osservati nelle autostrade che sono gestite da diverse società concessionarie (12)

Dall'illustrazione precedente si deduce una notevole variabilità dei tassi nel corso degli anni presi in considerazione.

I tassi di fatalità annuali, di ciascuna società, si determinano facendo la media dei tassi ottenuti per i tronchi autostradali facenti parte del gruppo in questione.

Negli anni presi in esame, eccetto il 2019, nei tratti autostradali gestiti dal gruppo ASTM S.p.A., i tassi di mortalità sono in linea con quelli registrati nelle autostrade facenti parte dalle altre concessionarie.

Nelle autostrade del gruppo Gavio (ASTM S.p.A.), nel corso del 2019, si sono registrati all'incirca 3 morti per 100 milioni di veicoli-km poiché il tasso osservato nell'autostrada Torino – Bardonecchia, pari a 33.190, ha comportato un aumento considerevole del valore medio.

Successivamente, attraverso la Figura 2.8, è stato possibile confrontare i tassi di fatalità del gruppo ASPI con le società concessionarie che presentano rispettivamente i dati migliori e peggiori:

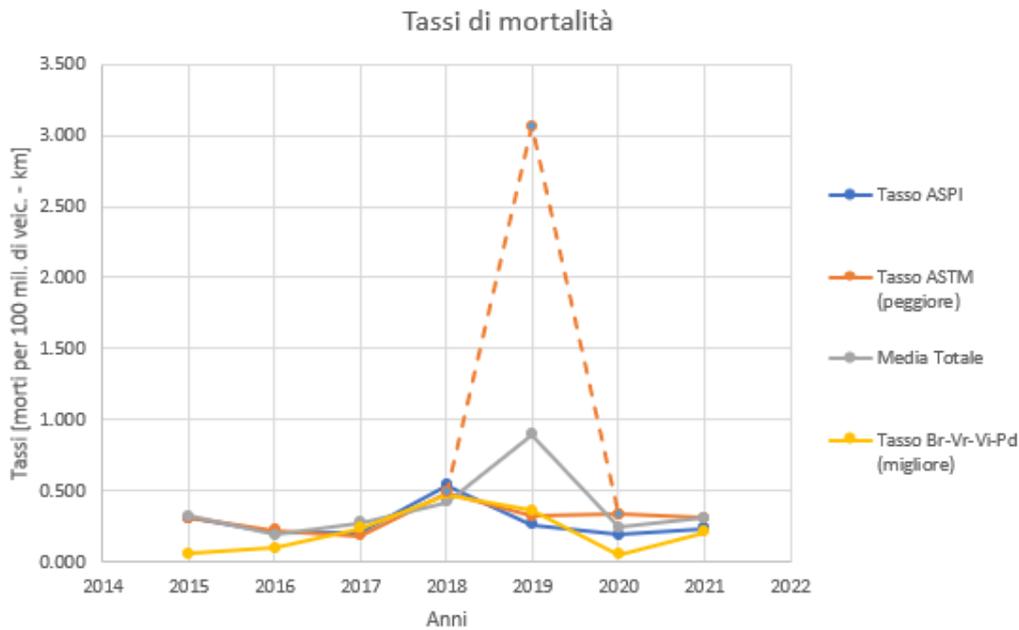


Figura 2.8: tassi di mortalità (12)

È stato preso in considerazione anche il valore medio dei tassi in modo da poter effettuare diverse considerazioni.

Ad esempio, nelle autostrade della società ASPI, il numero delle vittime per 100 milioni di veicoli – km è stato sempre inferiore alla media italiana eccetto per l'anno 2018.

Purtroppo, nel periodo tra il 2015 e il 2021, le tratte autostradali gestite dalla società ASTM S.p.A. esibiscono mediamente i tassi di mortalità più elevati.

Valgono sempre le valutazioni fatte precedentemente poiché, nel corso degli anni, i tassi di mortalità variano molto.

2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO IN AMBITO AUTOSTRADALE

In questo capitolo vengono analizzate le diverse tipologie di cantiere e la relativa segnaletica da utilizzare in modo da minimizzare i rischi per i lavoratori e gli automobilisti.

Secondo l'Art. 89 del D. Lgs. 81/08 (5), il cantiere temporaneo o mobile è qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civili il cui elenco è riportato nell'Allegato X del suddetto Decreto Legislativo.

In ambito autostradale, di norma, vengono eseguite diverse attività di cantiere come, ad esempio, lavori di costruzione, di manutenzione e di riparazione della carreggiata.

Un aspetto da non trascurare riguarda l'inizio dei lavori in quanto la normativa (8) consiglia di eseguire le varie attività cantieristiche nei periodi giornalieri di minimo impegno dell'autostrada da parte dei flussi veicolari. In generale, i lavori non urgenti di durata elevata devono essere eseguiti nei periodi annuali di minore traffico.

I cantieri autostradali si dividono in fissi e mobili in base alla durata e di seguito, per ciascuna categoria di quest'ultimi, sono stati riportati i diversi schemi segnaletici da adoperare:

- Cantieri Fissi: con riferimento al decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 10 luglio 2002 (8) un cantiere è detto fisso se non subisce alcuno spostamento durante almeno una mezza giornata;
- Cantieri Mobili: sono caratterizzati da una progressione continua ad una velocità che può variare da poche centinaia di metri al giorno a qualche chilometro all'ora

Un cantiere mobile non può essere usato in tutti i contesti stradali ma è consentito il loro impiego solo su strade con almeno 2 corsie per senso di marcia e, nel caso delle gallerie, solo se vi sono almeno 2 corsie per senso di marcia ed una adeguata illuminazione.

In funzione del tempo di esecuzione delle attività lavorative vengono impiegate diverse tipologie di cantieri stradali. Di seguito, mediante l'ausilio di tavole riguardanti gli schemi segnaletici (Figura 2.9, 2.10 e 2.11), sono riportati i segnali da utilizzare in ciascun tipo di zona di lavoro:

- I cantieri di durata non superiore a 2 giorni richiedono l'utilizzo di segnali mobili:

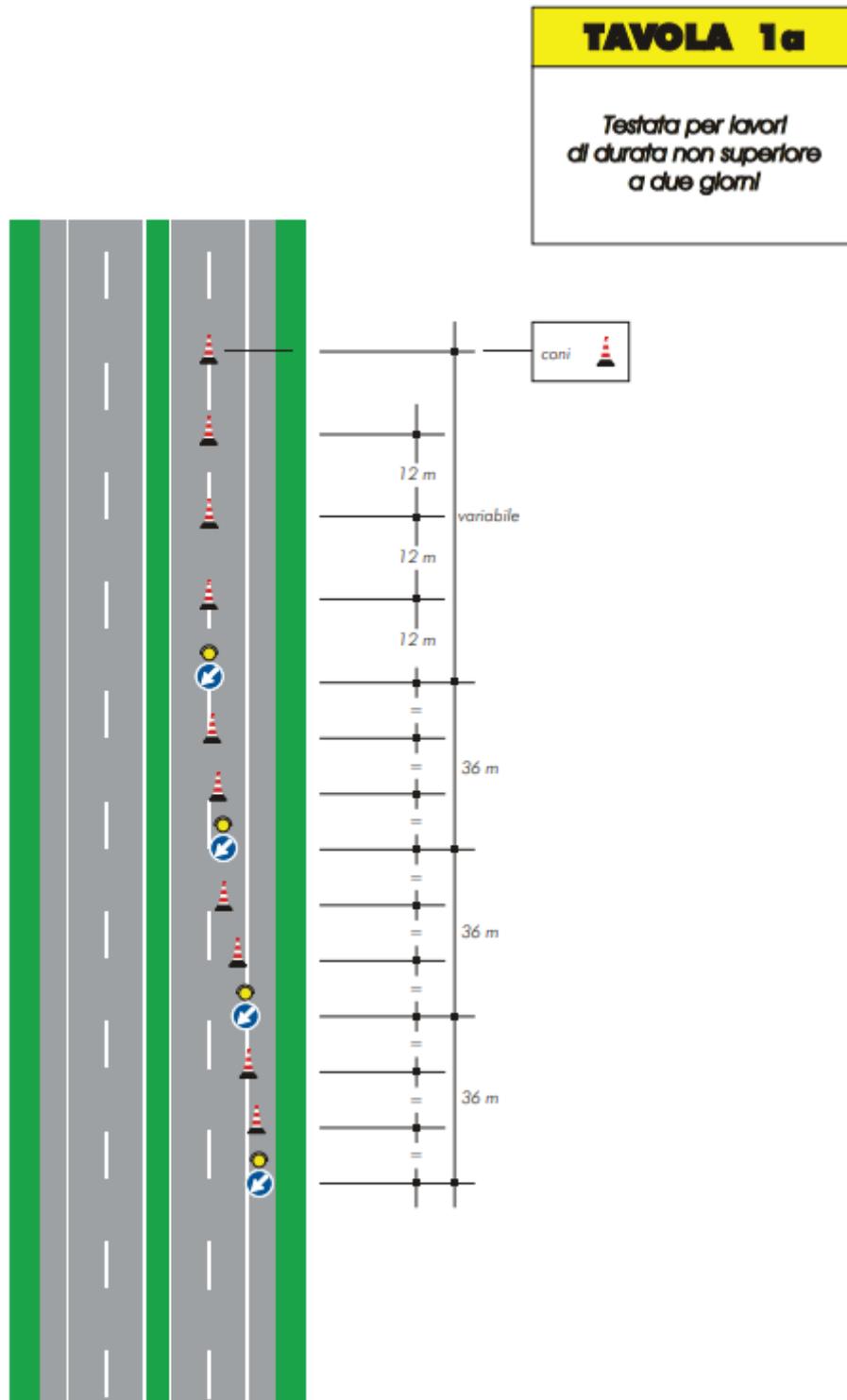


Figura 2.9: schema segnaletico per lavori non superiori a due giorni (8)

- Nei cantieri di durata compresa tra 3 e 7 giorni è necessario utilizzare dei segnali parzialmente fissi:

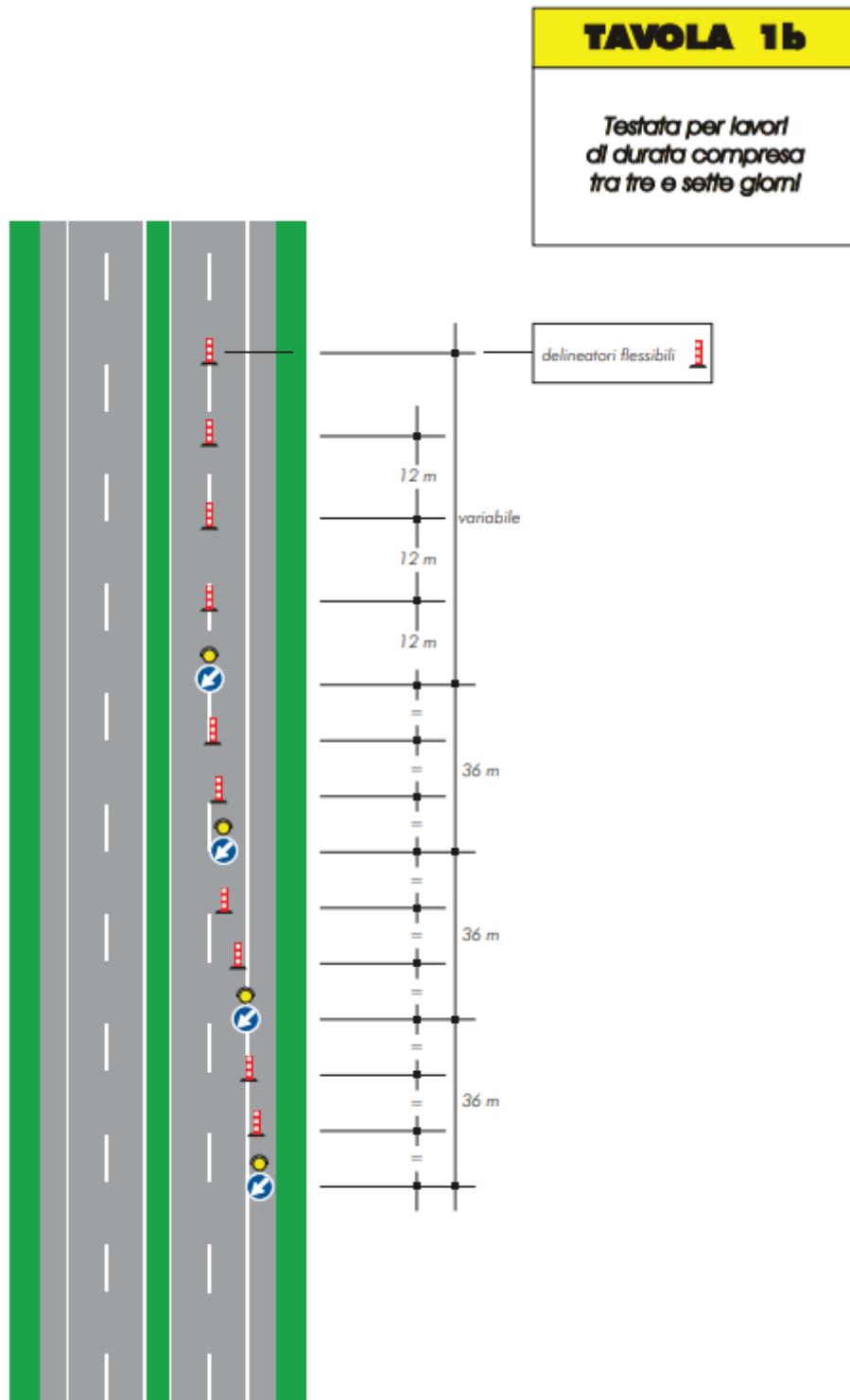


Figura 2.10: schema segnaletico per lavori di durata compresa tra tre e sette giorni (8)

- I cantieri di durata superiore a 7 giorni richiedono l'utilizzo di segnali fissi e segnaletica orizzontale gialla:

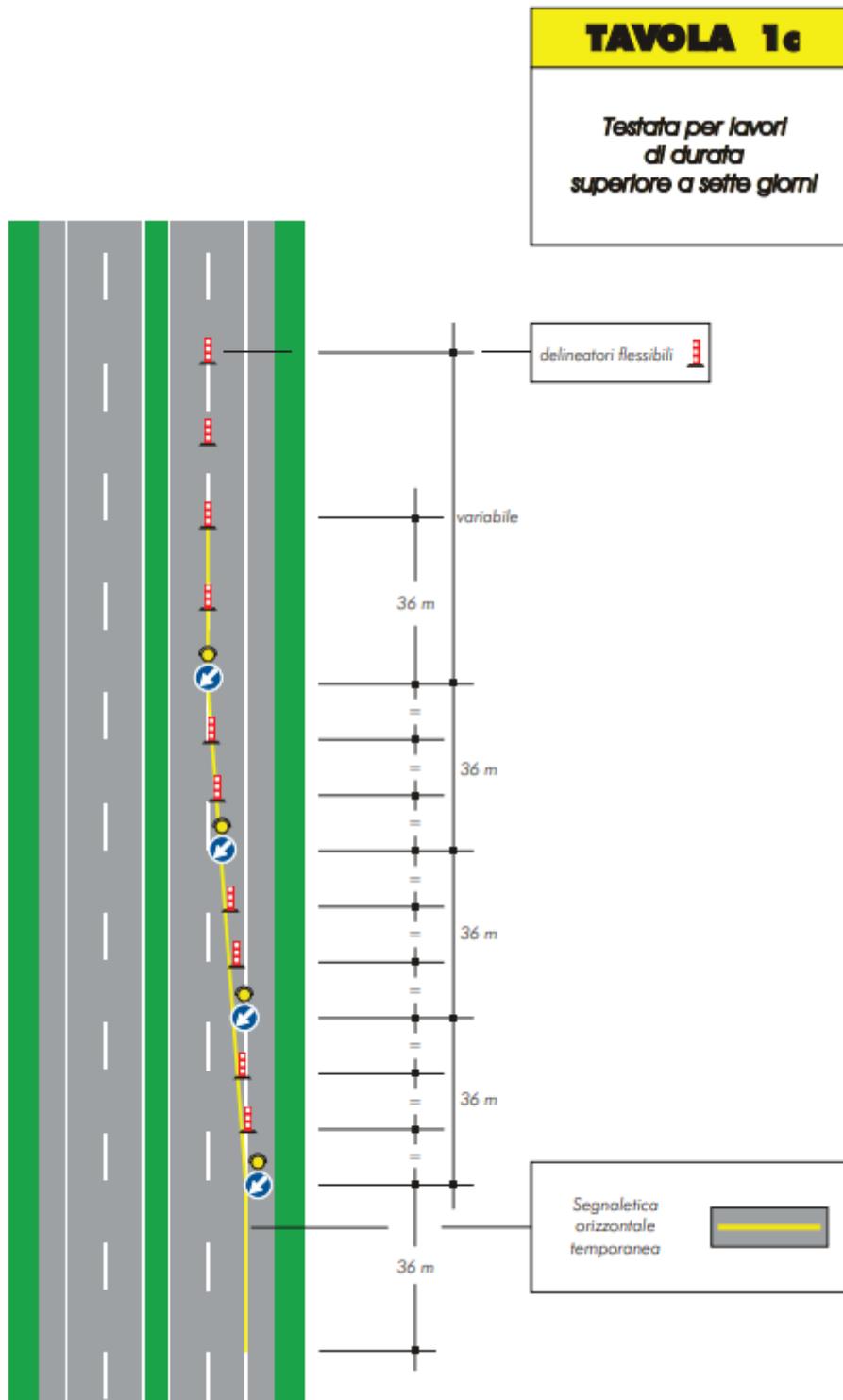


Figura 2.11: schema segnaletico per lavori di durata superiore a sette giorni (8)

2.3 SEGNALAMENTO

È indispensabile fare ricorso al segnalamento temporaneo per tutti i tipi di cantiere in modo che il conducente del mezzo possa essere informato sulla presenza dei lavori e di conseguenza possa adottare un comportamento più prudente riducendo la velocità e prestando maggiore attenzione ad eventuali pericoli.

I segnali utilizzati nei pressi delle attività di cantiere, secondo il Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici (8), deve:

- Informare gli utenti;
- Guidarli;
- Convincerli a tenere un comportamento adeguato ad una situazione non abituale.

L'installazione della segnaletica temporanea richiede il rispetto dei principi di:

- Adattamento;
- Coerenza;
- Credibilità;
- Visibilità e leggibilità.

Principio di adattamento:

I segnali stradali devono essere adattati al tipo di pericolo che sussiste in un determinato segmento autostradale. Bisogna prendere in considerazione diversi aspetti per l'installazione della segnaletica temporanea come il tipo di autostrada e le sue caratteristiche geometriche, la durata e l'importanza del cantiere, la velocità, la tipologia del traffico e la visibilità in condizioni meteorologiche avverse.

Principio di coerenza:

La segnaletica messa in opera nei pressi di un cantiere deve essere coerente con la circostanza che si presenta all'automobilista. Per ogni situazione devono essere utilizzati gli stessi segnali e gli stessi criteri di posa e non possono coesistere segnali temporanei e permanenti in contrasto tra loro.

Principio di credibilità:

Affinché la segnaletica risulti efficace ad evitare gli incidenti deve essere credibile ed informare i conducenti della situazione di cantiere, della sua localizzazione e delle condizioni di circolazione in prossimità e lungo lo stesso. I segnali impiegati devono seguire, nel tempo e nello spazio, l'evoluzione della zona interessata dalle lavorazioni ed è necessario rimuoverli appena il cantiere è terminato.

Principio di visibilità e di leggibilità:

La segnaletica temporanea, per essere visibile e leggibile, deve avere forma, dimensioni, colori, simboli e caratteri regolamentari; deve essere in buono stato ed infine i segnali devono essere in numero limitato accertando il loro corretto posizionamento lungo la zona soggetta ai lavori.

I cantieri in autostrada causano seri rischi alla circolazione in quanto si assiste ad un incremento del traffico e del numero di conflitti che potrebbero nascere con i mezzi di lavoro o con le altre vetture. Generalmente la limitazione della velocità non è sempre indispensabile poiché l'utilizzo del segnale "Lavori" o "Altri Pericoli" impone agli automobilisti di adottare un comportamento più previdente limitando la velocità. Al contrario, nei casi dove si utilizza l'opportuna segnaletica per far decelerare gli utenti, la riduzione della velocità deve essere realizzata a decrescere per blocchi di 20 Km/h e di conseguenza non è possibile impiegare dei segnali di limitazione della velocità eccessivamente ridotta (5, 10 o 20 Km/h).

Il segnale "Limite massimo di velocità" deve essere sempre installato dopo la segnaletica di pericolo e deve essere ripetuto ogni volta che il tratto di autostrada interessato dai lavori è più lungo di 1.0 km.

Un aspetto importante da considerare è la distanza tra i vari segnali che dipende dalla velocità in fase di avvicinamento al cantiere e dall'eventuale presenza di ostacoli come alberi, curve o pile di ponti.

Il Decreto 10 luglio 2002 (8) impone il seguente schema segnaletico temporaneo:

- Una segnaletica di avvicinamento situata a monte del cantiere;
- L'utilizzo dei segnali di posizione a ridosso e lungo la zona interessata;
- Una segnaletica di fine prescrizione a valle della zona interessata dai lavori.

Nelle strade a carreggiate separate, come nelle autostrade, prima della segnaletica di avvicinamento è possibile posizionare due lanterne a luce gialla lampeggiante di grande diametro (minimo 30 cm) se il cantiere è molto importante o è difficile scorgerlo da lontano.

Le lanterne devono essere disposte su un segnale "lavori" munito anche di un pannello integrativo di distanza dal cantiere.

La distanza minima tra il segnale di pericolo e la messa in posa delle lanterne è pari a:

- 750 m sulle strade di tipo A (autostrade) e B con due corsie per senso di marcia;
- 1000 m sulle strade di tipo A e B con almeno tre corsie per senso di marcia.

Un'altra prescrizione riguarda il tipo di montaggio della segnaletica in quanto il bordo inferiore dei segnali verticali si deve trovare ad un'altezza dal suolo non inferiore a 60 cm.

2.4 SEGNALETICA NEI CANTIERI FISSI

- SEGNALETICA DI AVVICINAMENTO

La segnaletica di avvicinamento, secondo i vari casi, è costituita da:

- Un segnale “lavori” o “altri pericoli” con eventuale pannello integrativo;
- Segnali di “riduzione corsie” con l’aggiunta di un pannello di distanza;
- Segnaletica riguardante il “divieto di sorpasso” e il “limite massimo di velocità”;
- Altri segnali di pericolo o di prescrizione ritenuti necessari;
- Segnaletica di preavviso e di direzione in caso di deviazione.

In genere, nel caso di strade a carreggiate separate, lo stesso tipo di segnali deve essere installato sullo spartitraffico.

Di seguito, nella Figura 2.12, sono riportati due segnali di pericolo comunemente utilizzati nei pressi dei cantieri:



Figura II 383 Art. 31

LAVORI



Figura II 384 Art. 31

STRETTOIA SIMMETRICA

Figura 2.12: segnali utilizzati nel caso di lavori e di strettoia simmetrica (8)

- SEGNALETICA DI POSIZIONE

La segnaletica di posizione viene utilizzata a ridosso del cantiere per delimitare in maniera efficace la zona di lavoro. Secondo il Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici (8), la tipologia di segnali stradali che bisogna utilizzare è la seguente:

- All'inizio del cantiere vengono installati uno o più raccordi obliqui realizzati con barriere, coni, delineatori flessibili o paletti di delimitazione muniti da segnali di obbligo o delineatori di curva provvisoria;
- Una delimitazione longitudinale composta da coni o delineatori flessibili opportunamente spazati tra loro;
- Altri segnali di pericolo e di prescrizione possono essere ripetuti nel caso di cantieri caratterizzati da un'estensione superiori a 1.0 km.

In autostrada, per motivi di sicurezza, è consigliata una distanza di sicurezza uguale a 150 m tra la fine del raccordo obliquo e la zona di lavoro.

- SEGNALETICA DI PRESCRIZIONE

Si fa uso degli appropriati segnali relativi alle prescrizioni valide a valle del cantiere autostradale.

La Figura 2.13 illustra due esempi di segnaletica di prescrizione:



Figura II 71 Art. 119

FINE LIMITAZIONE DI VELOCITÀ



Figura II 72 Art. 119

FINE DEL DIVIETO DI SORPASSO

Figura 2.13: segnali di prescrizione (8)

2.5 RIDUZIONE DEL NUMERO DI CORSIE

Per eseguire le varie attività lavorative è indispensabile effettuare una riduzione del numero di corsie. È preferibile deviare la corsia di marcia veloce su quella lenta poiché garantisce agli utenti maggiori standard di sicurezza.

I gestori dell'autostrada, in funzione del traffico atteso e della durata del cantiere, dovranno esaminare tutte le tipologie di deviazione del traffico e selezionare quella che meglio si adatta al contesto.

A volte si ritiene opportuno indirizzare una parte (scambio parziale) o tutto il traffico (scambio totale) sulla carreggiata del verso opposto.

Uno scambio si esegue nel modo seguente:

- Nel senso di marcia del cantiere il numero delle corsie viene ridotto, il flusso di circolazione si stabilizza e una o più corsie si scambiano assicurando una separazione fisica tra le correnti di circolazione opposte.
- Nel senso di marcia opposto alla zona di lavoro la riduzione o la deviazione della corsia deve essere messa in atto prima della sezione a doppio senso in quanto è importante stabilizzare il flusso di traffico.

È vietato realizzare uno scambio in galleria e per questo motivo, sia il segnalamento in avvicinamento che la deviazione dei flussi di traffico devono essere effettuati all'esterno facendo ricorso del doppio senso di marcia nel tunnel adiacente.

Quando in una carreggiata si attua il doppio senso di circolazione, è importante garantire la separazione di correnti opposte mediante l'ausilio di dispositivi discontinui (coni o delineatori flessibili) o continui (cordoli delimitatori di corsia).

Un esempio di schema segnaletico da adottare per i cantieri che richiedono la deviazione del traffico, per un numero di giorni superiore a due, è il sottostante (Figura 2.14):

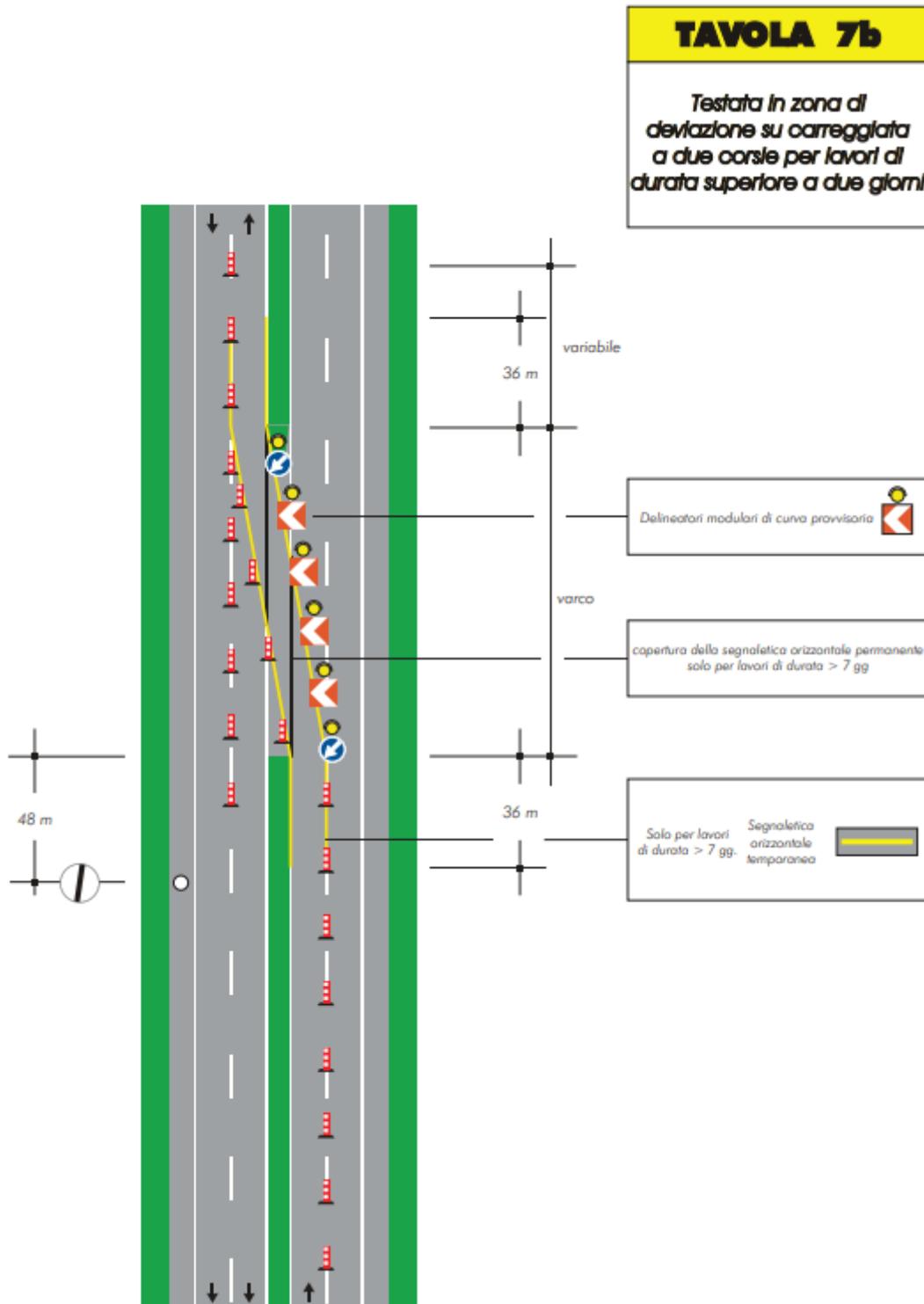


Figura 2.14: Testata in zona di deviazione su carreggiata a due corsie per lavori di durata superiore a due giorni (8)

In genere, i coni si utilizzano per le attività di cantiere di breve durata o nei casi in cui è frequente lo spostamento dell'allineamento di separazione dei due sensi di marcia. All'opposto, si fa uso dei cordoli delimitatori di corsia per i cantieri di lunga durata.

2.6 SEGNALETICA NEI CANTIERI MOBILI

In autostrada è possibile fare affidamento ai cantieri mobili in quanto essa è costituita da almeno due corsie per senso di marcia.

Tutte le considerazioni illustrate per i cantieri fissi valgono anche per quelli mobili e in base alle corsie chiuse al traffico cambiano i sistemi di segnalamento.

Nei casi in cui i lavori riguardano la banchina, la corsia di emergenza o quella di destra, si introducono solo due dispositivi costituiti da:

- Segnale mobile di preavviso o presegnale di cantiere mobile disposto in banchina o sulla corsia di emergenza;
- Segnale mobile di protezione installato sulla banchina, corsia di emergenza o in quella di marcia ad una distanza compresa tra i 200 e i 500 metri dal segnale mobile di preavviso.

Al contrario, quando il cantiere interessa le altre corsie, la segnaletica da adottare è la seguente:

- Due segnali mobili di preavviso o presegnali di cantiere mobile disposti in banchina o sulla corsia di emergenza e/o sulla corsia di destra;
- Segnale mobile di protezione installato sulla corsia di marcia installata ad una distanza compresa tra i 200 e i 500 metri dal secondo segnale mobile di preavviso.

La Figura seguente (Figura 2.15) illustra la tipologia di segnaletica che bisogna impiegare nel caso di un cantiere mobile che interessa la corsia di sorpasso:

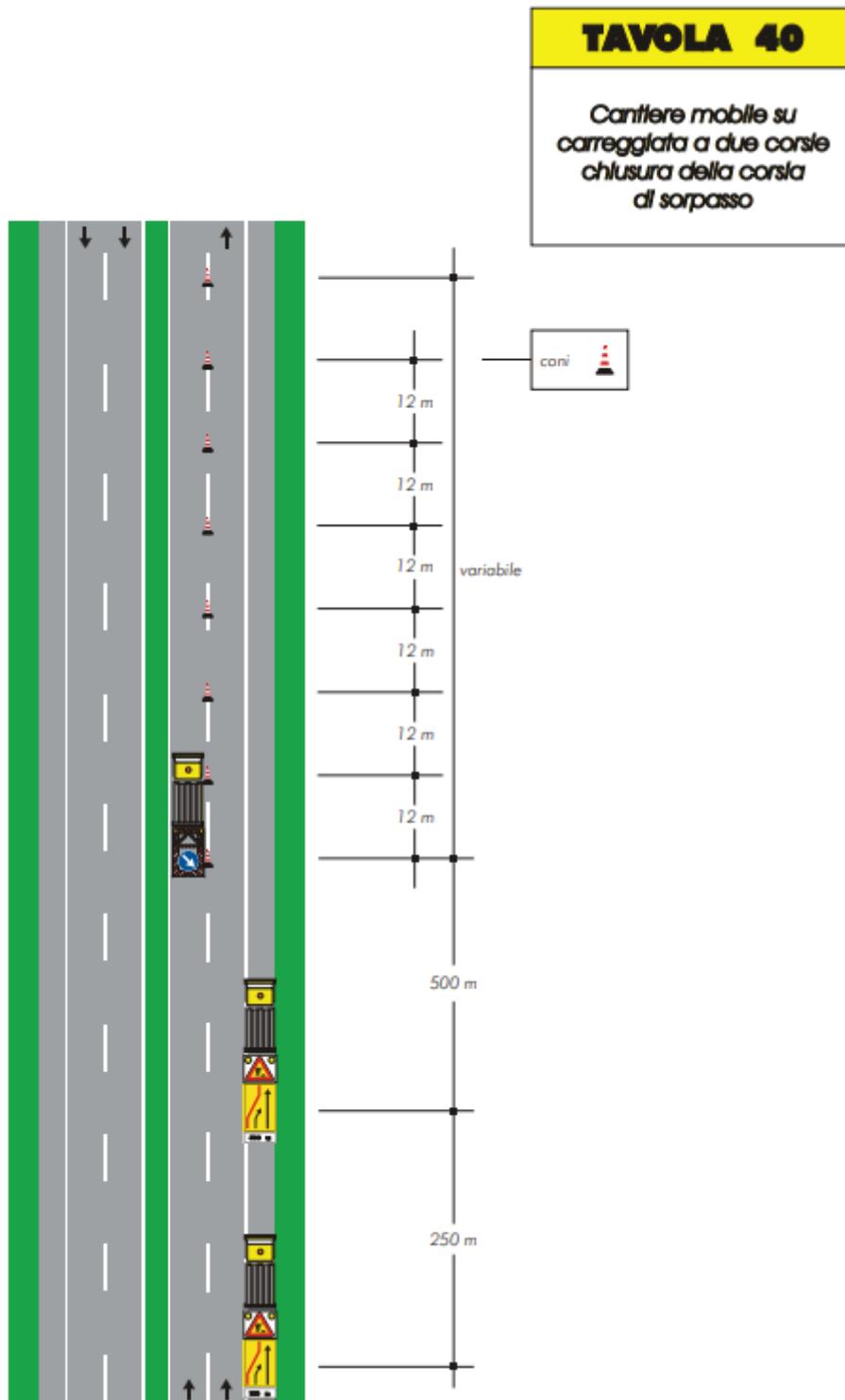


Figura 2.15: cantiere mobile su carreggiata a due corsie – chiusura della corsia di sorpasso (8)

All'avanzare del cantiere i segnali vengono spostati in modo che entrambi siano comunque visibili da una distanza di almeno 300 metri.

È possibile sistemare i segnali mobili anche su un mezzo di lavoro o su un carrello trainato, mentre al cessare delle attività cantieristiche, è opportuno disporre la segnaletica in posizione ripiegata e spegnere i dispositivi luminosi.

CAPITOLO 3 - MODELLI DI STIMA DEL RISCHIO INCIDENTE IN PRESENZA DEL CANTIERE

3.1 HIGHWAY SAFETY MANUAL

Il Manuale della sicurezza stradale (Highway Safety Manual) (13) fornisce conoscenze sulla sicurezza e strumenti con lo scopo di aiutare i professionisti nel processo decisionale. Viene usato da persone con diverse formazioni professionali e da tecnici, tra cui ingegneri e pianificatori dei trasporti.

L'HSM, tramite diverse metodologie, consente di stimare e valutare le strade in termini di frequenza dei sinistri stradali (numero di incidenti all'anno) e a livello di gravità degli incidenti (livello delle lesioni). I vari modelli permettono di effettuare previsioni sul numero e sulla severità degli incidenti futuri e identificare e valutare le opzioni per ridurre l'incidentalità e la gravità dei sinistri.

L'obiettivo consiste nel ridurre il numero e la gravità degli incidenti entro i limiti delle risorse, della scienza e della tecnologia disponibili, rispettando al contempo le priorità imposte dalle leggi.

Il Manuale viene utilizzato in tutte le attività di pianificazione, programmazione, sviluppo di progetti, costruzione, gestione e manutenzione di attività autostradali. Le informazioni contenute nell'HSM sono fornite per assistere le agenzie nel loro sforzo di integrare la sicurezza nei processi decisionali.

Il Manuale non tiene conto delle differenze tra le diverse giurisdizioni e di conseguenza contiene tecniche di calibrazione per adattare i diversi modelli all'uso locale. Ciò è necessario a causa delle differenze nei fattori, come la popolazione dei conducenti, le condizioni locali delle strade, la composizione del traffico, le geometrie tipiche e le misure di controllo del traffico. Esistono anche differenze nel modo in cui ogni Stato o giurisdizione riporta gli incidenti e gestisce i dati sugli incidenti.

L'HSM utilizza sia i modelli descrittivi che quelli predittivi. Le analisi descrittive tradizionali comprendono metodi come la frequenza, il tasso di collisioni e il danno equivalente alla proprietà (EPDO) per analizzare la storia degli incidenti, il tipo e/o la gravità in un sito.

I metodi predittivi più rigorosi dal punto di vista statistico forniscono un mezzo per stimare gli incidenti in base alla geometria, alle caratteristiche operative e al traffico. Servono a migliorare l'affidabilità di attività comuni, come lo screening di una rete per individuare i siti in cui ridurre i sinistri, e ad ampliare l'analisi per includere valutazioni sulle caratteristiche geometriche e operative.

Le analisi descrittive quantificano i sinistri che si sono verificati in un sito (ad esempio, riassumendo i dati storici sugli incidenti in diverse forme) mentre le analisi predittive servono a stimare il numero medio atteso e la gravità degli incidenti previsti in siti con caratteristiche geometriche e operative simili.

L'HSM può essere utilizzato per:

- identificare i siti con il maggior potenziale di riduzione della frequenza o della gravità dei sinistri stradali;
- riconoscere i fattori che contribuiscono agli incidenti e le potenziali contromisure per affrontarli;
- effettuare valutazioni economiche dei miglioramenti e stabilire le priorità dei progetti;
- valutare i benefici in termini di riduzione degli incidenti dopo avere implementato diversi trattamenti;
- calcolare l'effetto delle varie alternative progettuali sulla frequenza e sulla gravità dei sinistri;
- stimare il numero e la gravità delle collisioni potenziali sulle reti autostradali;
- valutare i potenziali effetti delle decisioni di pianificazione, progettazione, gestione sulla frequenza e gravità degli incidenti.

Il Manuale è costituito da 4 parti:

- Parte A: introduzione, fattori umani e fondamentali
- Parte B: processo di gestione della sicurezza stradale
- Parte C: metodi predittivi
- Parte D: Fattori di modifica degli incidenti (Accident modification factors – AMF).

La Parte A descrive lo scopo e il campo di applicazione dell'Highway Safety Manual. È presente anche una panoramica dei principi dei fattori umani per la sicurezza stradale e le parti fondamentali dei processi e degli strumenti descritti nel Manuale.

La Parte B spiega le fasi che possono essere impiegate per monitorare e ridurre il numero e la gravità degli incidenti sulle reti autostradali esistenti. Include metodi utili a identificare i siti in cui è possibile incrementare la sicurezza e allo stesso tempo permette di selezionare appropriate contromisure mediante una valutazione economica e dell'efficacia dei vari progetti.

La Parte C fornisce un metodo predittivo per stimare la frequenza media attesa dei sinistri di una rete autostradale o anche di un singolo sito. La stima può essere effettuata per le condizioni esistenti, per le condizioni alternative o per le nuove autostrade proposte. Il modello predittivo viene applicato a un determinato periodo di tempo, di volume di traffico e a determinate caratteristiche geometriche della carreggiata. Questa parte può essere utilizzata anche per determinare le funzioni di prestazione di sicurezza (SPF).

Infine, la parte D riassume gli effetti di vari trattamenti, come le modifiche geometriche e operative. Gli AMF calcolano la variazione dell'incidentalità in seguito alle modifiche apportate a un sito.

3.1.1 HIGHWAY SAFETY MANUAL IN AMBITO AUTOSTRADALE

Nell'edizione del 2014 sono stati aggiunti altri capitoli, tra cui quello che tratta le autostrade (freeway).

Il capitolo 18 dell'HSM (14) tratta il metodo predittivo per le autostrade. Fornisce una metodologia dettagliata per valutare la frequenza media attesa degli incidenti (totale, per tipo di incidente o per gravità) di un'autostrada con caratteristiche note. Il metodo predittivo può essere applicato sia ad un'autostrada esistente o ad un'alternativa di progetto e sia per una nuova infrastruttura.

La stima può essere effettuata per calcolare l'incidentalità prevista per un periodo precedente o per un periodo di tempo futuro.

3.1.2 PANORAMICA DEL METODO PREDITTIVO

Il metodo predittivo, mediante una procedura in 18 fasi, stima la frequenza media attesa delle collisioni (in totale, per tipo di incidente o per gravità) per l'intera o per determinati tronchi di rete autostradale o per un dato sito. Un sito rappresenta un segmento autostradale mentre un tratto di rete è definito dall'uso del territorio circostante, dalla sezione stradale e dal grado di accesso. Invece, una rete è costituita dall'insieme dei vari tronchi.

La Figura 3.1 mette in evidenza gli step da seguire per calcolare la frequenza media prevista dei sinistri:

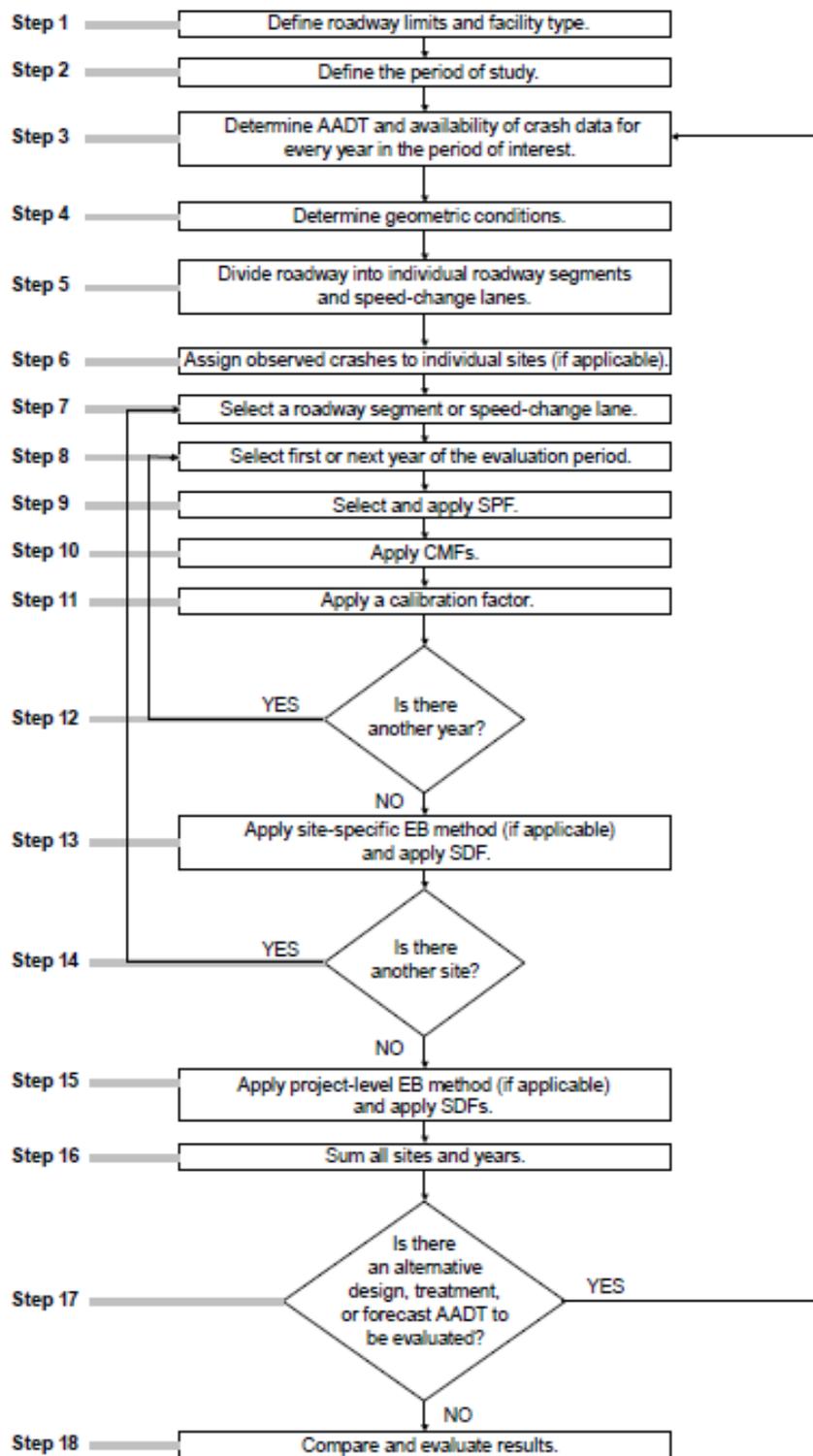


Figura 3.1: fasi del metodo predittivo (14)

L'incidentalità viene stimata per un determinato periodo di tempo (in anni) durante il quale le caratteristiche geometriche e di controllo del traffico rimangono invariate e i volumi di traffico sono noti o previsti.

La frequenza media prevista degli incidenti si ottiene dividendo il numero pronosticato di collisioni per il numero di anni del periodo di interesse. La stima si ottiene combinando la previsione del modello predittivo con i dati di incidente osservati, usando il metodo Empirical Bayes (EB).

La frequenza media di incidenti viene determinata usando la seguente formula (Equazione 3.1):

$$N_{p,w,x,y,z} = N_{spf,w,x,y,z} \times (CMF_{1,w,x,y,z} \times CMF_{2,w,x,y,z} \times \dots \times CMF_{m,w,x,y,z}) \times CMF_{w,x,y,z}$$

Equazione 3.1: calcolo dell'incidentalità

Dove:

$N_{p,w,x,y,z}$ = è la frequenza media delle collisioni ipotizzata per un anno specifico per il tipo di sito w, per la sezione trasversale o il tipo di controllo x, tipo di incidente y e gravità z (incidenti/anno);

$N_{spf,w,x,y,z}$ = è la frequenza media dei sinistri supposta per le condizioni di base della SPF sviluppata per il sito tipo w, sezione trasversale o controllo tipo x, tipo di incidente y e gravità z (incidenti/anno);

$CMF_{m,w,x,y,z}$ = sono fattori di modifica degli incidenti specifici per il tipo di sito w, sezione trasversale o il tipo di controllo x, il tipo di incidente y, e gravità z per una specifica configurazione geometrica e per l'elemento di controllo del traffico m;

$CMF_{w,x,y,z}$ = è il fattore di calibrazione per adattare la SPF alle condizioni locali per il tipo di sito w, per la sezione trasversale o il tipo di controllo x, tipo di incidente y e gravità z.

Nel metodo predittivo è inclusa una distribuzione predefinita del tipo di incidente e viene utilizzata per quantificare la frequenza dei sinistri per ciascuno dei diversi tipi di collisione. I modelli effettuano una stima sul numero degli incidenti con morti e feriti e sul numero delle collisioni con soli danni alle cose.

Il modello predittivo, per i segmenti di autostrada, viene calcolato mediante le seguenti relazioni (Equazione 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6):

$$N_{p,fs,n,at,as} = N_{p,fs,n,mv,fi} + N_{p,fs,n,sv,fi} + N_{p,fs,n,mv,pdo} + N_{p,fs,n,sv,pdo}$$

Equazione 3.2: stima della frequenza media delle collisioni per tutte le tipologie e per tutte le gravità

$$N_{p,fs,n,mv,fi} = C_{fs,ac,mv,fi} \times N_{spf,fs,n,mv,fi} \times (CMF_{1,fs,ac,mv,fi} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,mv,fi}) \times (CMF_{1,fs,ac,at,fi} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,at,fi})$$

Equazione 3.3: stima del numero di tamponamenti mortali o con feriti

$$N_{p,fs,n,sv,fi} = C_{fs,ac,sv,fi} \times N_{spf,fs,n,sv,fi} \times (CMF_{1,fs,ac,sv,fi} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,sv,fi}) \\ \times (CMF_{1,fs,ac,at,fi} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,at,fi})$$

Equazione 3.4: frequenza attesa degli incidenti autonomi con soli danni alle cose

$$N_{p,fs,n,mv,pdo} = C_{fs,ac,mv,pdo} \times N_{spf,fs,n,mv,pdo} \\ \times (CMF_{1,fs,ac,mv,pdo} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,mv,pdo}) \\ \times (CMF_{1,fs,ac,at,pdo} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,at,pdo})$$

Equazione 3.5: valutazione del numero di sinistri multipli con soli danni alle cose

$$N_{p,fs,n,sv,pdo} = C_{fs,ac,sv,pdo} \times N_{spf,fs,n,sv,pdo} \times (CMF_{1,fs,ac,sv,pdo} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,sv,pdo}) \\ \times (CMF_{1,fs,ac,at,pdo} \times \dots \times CMF_{m,fs,ac,at,pdo})$$

Equazione 3.6: numero atteso di collisioni autonomi con soli danni alle cose

Dove:

$N_{p,fs,n,y,z}$ = è la frequenza media ipotizzata degli incidenti di un segmento autostradale con n corsie, tipo di incidente y ($y = sv$: veicolo singolo, mv : più di un veicolo, at : tutti i tipi), e gravità z ($z = fi$: mortale e con feriti, pdo : solo danni alla proprietà, as : tutte le gravità) (incidenti/anno);

$N_{spf,fs,n,y,z}$ = rappresenta l'incidentalità di un segmento autostradale con condizioni di base, n corsie, tipo di incidente y ($y = sv$: veicolo singolo, mv : più di un veicolo, at : tutti i tipi) e gravità z ($z = fi$: mortale e con lesioni, pdo : solo danni alle cose) (incidenti/anno);

$CMF_{m,fs,ac,y,z}$ = è il fattore di modifica delle collisioni per un segmento di autostrada con qualsiasi sezione trasversale ac , caratteristica m , tipo di incidente y ($y = sv$: veicolo singolo, mv : più di un veicolo, at : tutti i tipi), e gravità z ($z = fi$: mortale e con lesioni, pdo : solo danni alle cose);

$C_{fs,ac,y,z}$ = rappresenta il fattore di calibrazione per segmenti autostradali con qualsiasi sezione trasversale ac , tipo di sinistro y ($y = sv$: veicolo singolo, mv : più di un veicolo, at : tutti i tipi), e gravità z ($z = fi$: mortale e con lesioni, pdo : solo danni alle cose).

L'Eq 3.2 viene determinata sommando quattro termini. Ciascun addendo rappresenta la frequenza dei sinistri mortali e con feriti oppure con soli danni alle cose (pdo).

3.1.3 STIMA DELLA FREQUENZA TOTALE DEGLI INCIDENTI

Uno dei risultati del metodo predittivo è la previsione della frequenza media totale degli incidenti. La stima comprende tutte le tipologie e tutti i livelli di gravità dei sinistri e viene calcolata a partire dal numero totale di collisioni previsti per ogni sito e per ogni anno del periodo di studio.

Il numero totale previsto di collisioni tra mezzi, durante il periodo di studio, è calcolato tramite l'Equazione 3.7:

$$N_{e,as,ac,at,as}^* = \sum_{j=1}^{n_s} \left(\sum_{i=1}^{\text{tutti i siti}} N_{e,fs(i),n,at,as,j} + \sum_{i=1}^{\text{tutti i siti}} N_{e,sc(i),nEN,at,as,j} + \sum_{i=1}^{\text{tutti i siti}} N_{e,sc(i),nEX,at,as,j} \right)$$

Equazione 3.7: numero totale di incidenti

Dove:

$N_{e,as,ac,at,as}^*$ = rappresenta il numero totale di incidenti previsti per tutti i siti aS e per tutti gli anni del periodo di studio (include tutte le sezioni trasversali ac , tutti i tipi di incidente at e tutte le gravità as) (incidenti);

n_s = è il numero di anni nel periodo di riferimento (anni);

$N_{e,fs(i),n,at,as,j}$ = è la frequenza media attesa di sinistri in un segmento autostradale i con n corsie per l'anno j (include tutti i tipi di incidenti at e tutte le gravità as) (incidenti/anno);

$N_{e,sc(i),nEN,at,as,j}$ = è il numero di collisioni ipotizzato in una rampa di accesso i di un'autostrada con n corsie per l'anno j (include tutti i tipi di incidente e tutte le gravità) (incidenti/anno);

$N_{e,sc(i),nEX,at,as,j}$ = è la stima del numero di incidenti messa in conto per la rampa di uscita i di un'autostrada con n corsie per anno j (include tutti i tipi di incidente e tutte le gravità) (incidenti/anno).

La prossima formula (Equazione 3.8) viene utilizzata per calcolare la frequenza media complessiva di incidenti attesa durante il periodo di studio:

$$N_{e,as,ac,at,as} = \frac{N_{e,as,ac,at,as}^*}{n_s}$$

Equazione 3.8: frequenza degli incidenti attesa durante il periodo di studio

Dove:

$N_{e,as,ac,at,as}$ = è la frequenza media complessiva attesa dei sinistri per tutti i siti aS e per tutti gli anni del periodo di studio (include tutte le sezioni trasversali ac , tutti i tipi di incidente at e tutte le gravità as) (incidenti/anno).

3.1.4 SAFETY PERFORMANCE FUNCTION

Usando il metodo predittivo, è necessario utilizzare appropriate funzioni di prestazione della sicurezza (SPF) per predire la frequenza media di incidenti in un dato sito con condizioni base. Ciascuna funzione SPF è stata sviluppata come un modello di regressione usando come variabile dipendente i dati osservati sugli incidenti. Lo scopo è quello di stimare le variabili dipendenti in funzione di un insieme di variabili indipendenti.

Le variabili indipendenti per stimare le SPF includono il volume AADT del segmento autostradale, la lunghezza del segmento e il tipo di area (rurale o urbana).

Alcune autorità di trasporto sono riuscite a sviluppare SPF specifici per ogni giurisdizione sostituendole, in un secondo momento, con quelle presenti nel manuale HSM.

Ogni SPF ha associato un parametro di dispersione k che fornisce un'indicazione dell'affidabilità statistica della funzione. L'SPF diventa statisticamente più affidabile se il parametro di dispersione k è vicino a 0.

In particolare, le SPF sono fornite per i segmenti autostradali con 4, 6, 8 o 10 corsie di marcia (totale delle corsie per entrambe le direzioni di marcia). L'intervallo di volumi di AADT è applicabile nei casi evidenziati nella Tabella 3.1. L'applicazione delle SPF, per quei siti che presentano volumi di traffico AADT che non rientrano negli intervalli mostrati nella Tabella seguente, potrebbero non fornire risultati attendibili.

Area Type	Cross Section (Through Lanes) (x)	Applicable AADT Volume Range (veh/day)
Rural	4	0 to 73,000
	6	0 to 130,000
	8	0 to 190,000
Urban	4	0 to 110,000
	6	0 to 180,000
	8	0 to 270,000
	10	0 to 310,000

Tabella 3.1: Intervalli di volume AADT applicabili per le funzioni SPF (14)

Le SPF possono essere estese alla valutazione di segmenti con 5, 7 o 9 corsie. Quando un segmento autostradale possiede ($X = Y + Z$) corsie totali, con Y corsie in una direzione e Z corsie nella direzione opposta e Y non è uguale a Z , allora bisogna valutare il segmento due volte. In questo modo, le due stime di frequenza di incidenti verranno mediate per ottenere la migliore stima della frequenza media dei sinistri nel segmento in questione.

• INCIDENTI CON PIU' VEICOLI

Le condizioni di base per le SPF, relative agli incidenti tra più veicoli su segmenti autostradali, sono esposte nella Tabella successiva (Tabella 3.2):

CONDIZIONI BASE	
Lunghezza della curva orizzontale	0.0 miglia
Larghezza della corsia	12 piedi (3.7 metri)
Larghezza della banchina interna (pavimentata)	6 piedi (1.8 metri)
Larghezza dello spartitraffico	60 piedi (18.3 metri)
Lunghezza della barriera nello spartitraffico	0.0 miglia
Numero di ore dove il volume è superiore a 1000 veh/h/corsia	nessuna
Distanza più vicina della rampa di monte	più di 0.5 miglia dal segmento autostradale
Distanza più vicina della rampa di valle	più di 0.5 miglia dal segmento autostradale
Lunghezza della sezione di manovra di tipo B	0.0 miglia

Tabella 3.2: condizioni di base per le funzioni SPF inerenti agli incidenti tra più veicoli

Le SPF per le collisioni tra più veicoli su segmenti autostradali sono determinate usando l'Equazione 3.9:

$$N_{spf,fs,n,mv,z} = L^* \times \exp(a + b \times \ln[c \times AADT_{fs}])$$

Equazione 3.9: funzioni SPF per i tamponamenti

Con

$$L^* = L_{fs} - \left(0.5 \times \sum_{i=1}^2 L_{en,seg,i}\right) - \left(0.5 \times \sum_{i=1}^2 L_{ex,seg,i}\right)$$

Equazione 3.10: calcolo della lunghezza effettiva del segmento autostradale

Dove:

L^* = lunghezza effettiva del segmento dell'autostrada (mi);

L_{fs} = lunghezza del segmento autostradale (mi);

$L_{en,seg,i}$ = lunghezza dell'ingresso della rampa i adiacente al segmento autostradale in questione (mi);

$L_{ex,seg,i}$ = lunghezza della rampa di uscita i adiacente al segmento autostradale in questione (mi);

a, b = coefficienti di regressione;

c = coefficiente di scala AADT;

$AADT_{fs}$ = volume AADT del segmento autostradale (veh/giorno).

I coefficienti SPF e il parametro di dispersione inversa sono riportati nella Tabella 3.3:

Crash Severity (z)	Area Type	Number of Through Lanes (n)	SPF Coefficient			Inverse Dispersion Parameter $K_{f_s, n, mv, z}$ (mi ⁻¹)	
			a	b	c		
Fatal and injury (f)	Rural	4	-5.975	1.492	0.001	17.6	
		6	-6.092	1.492	0.001	17.6	
		8	-6.140	1.492	0.001	17.6	
	Urban	4	-5.470	1.492	0.001	17.6	
		6	-5.587	1.492	0.001	17.6	
		8	-5.635	1.492	0.001	17.6	
		10	-5.842	1.492	0.001	17.6	
	Property damage only (pdo)	Rural	4	-6.880	1.936	0.001	18.8
			6	-7.141	1.936	0.001	18.8
			8	-7.329	1.936	0.001	18.8
Urban		4	-6.548	1.936	0.001	18.8	
		6	-6.809	1.936	0.001	18.8	
		8	-6.997	1.936	0.001	18.8	
		10	-7.260	1.936	0.001	18.8	

Tabella 3.3: coefficienti SPF e parametri di dispersione inversa (14)

Il valore del parametro di dispersione associato alle SPF è calcolato in funzione della lunghezza del segmento:

$$k_{f_s, n, mv, z} = \frac{1,0}{K_{f_s, n, mv, z} \times L^*}$$

Equazione 3.11: calcolo del parametro di dispersione

Dove:

$k_{f_s, n, mv, z}$ = è il parametro di dispersione per segmenti di autostrada con n corsie, mv incidenti che coinvolgono più di un'automobile e severità z ;

$K_{f_s, n, mv, z}$ = parametro di dispersione inversa per segmenti autostradali con n corsie, mv incidenti multipli e severità z .

La frequenza media attesa per gli incidenti tra più veicoli, per categoria di sinistro, si calcola moltiplicando l'incidentalità ottenuta dall'Equazione 3.9 per le proporzioni della Tabella 3.3.

La Tabella seguente (Tabella 3.4) mette in evidenza la distribuzione dei tamponamenti per tipo di incidente:

Area Type	Crash Type Category	Proportion of Crashes by Severity	
		Fatal and Injury	Property Damage Only
Rural	Head-on	0.018	0.004
	Right-angle	0.056	0.030
	Rear-end	0.630	0.508
	Sideswipe	0.237	0.380
	Other multiple-vehicle crashes	0.059	0.078
Urban	Head-on	0.008	0.002
	Right-angle	0.031	0.018
	Rear-end	0.750	0.690
	Sideswipe	0.180	0.266
	Other multiple-vehicle crashes	0.031	0.024

Tabella 3.4: distribuzione dei tamponamenti per tipo di incidente nei segmenti autostradali (14)

- INCIDENTI AUTONOMI

Le condizioni di base per le SPF, relative agli incidenti che coinvolgono una sola autovettura su segmenti autostradali, sono trattate nella Tabella 3.5:

CONDIZIONI BASE	
Lunghezza della curva orizzontale	0.0 miglia
Larghezza della corsia	12 piedi (3.7 metri)
Larghezza della banchina interna (pavimentata)	6 piedi (1.8 metri)
Larghezza dello spartitraffico	60 piedi (18.3 metri)
Lunghezza della barriera nello spartitraffico	0.0 miglia
Numero di ore dove il volume è superiore a 1000 veh/h/corsia	nessuna
Larghezza della banchina esterna (pavimentata)	10 piedi (3 metri)
Lunghezza della striscia antirumore sulla banchina	0.0 miglia
Larghezza della zona sgombra dagli ostacoli	30 piedi (9.1 metri)
Lunghezza della barriera esterna	0.0 miglia

Tabella 3.5: condizioni di base per le funzioni SPF inerenti agli incidenti singoli

Le funzioni SPF, per gli incidenti che vedono coinvolto un solo veicolo, nei segmenti autostradali sono rappresentate dalla seguente relazione (Equazione 3.12):

$$N_{spf,fs,n,sv,z} = L^* \times \exp(a + b \times \ln[c \times AADT_{fs}])$$

Equazione 3.12: funzioni SPF per gli incidenti autonomi

Dove:

$N_{spf,fs,n,sv,z}$ = è la frequenza media ipotizzata per i sinistri autonomi nel caso di un segmento autostradale con condizioni di base, n corsie, e gravità z ($z = fi$: morti e feriti, pdo : solo danni alle cose).

I coefficienti SPF e il parametro di dispersione inversa sono riportati nella Tabella 3.6:

Crash Severity (z)	Area Type	Number of Through Lanes (n)	SPF Coefficient			Inverse Dispersion Parameter $K_{f,n,sv,z}$ (mi^{-1})
			a	b	c	
Fatal and injury (fi)	Rural	4	-2.126	0.646	0.001	30.1
		6	-2.055	0.646	0.001	30.1
		8	-1.985	0.646	0.001	30.1
	Urban	4	-2.126	0.646	0.001	30.1
		6	-2.055	0.646	0.001	30.1
		8	-1.985	0.646	0.001	30.1
		10	-1.915	0.646	0.001	30.1
	Property damage only (pdo)	Rural	4	-2.235	0.876	0.001
6			-2.274	0.876	0.001	20.7
8			-2.312	0.876	0.001	20.7
Urban		4	-2.235	0.876	0.001	20.7
		6	-2.274	0.876	0.001	20.7
		8	-2.312	0.876	0.001	20.7
		10	-2.351	0.876	0.001	20.7

Tabella 3.6: coefficienti SPF e parametri di dispersione inversa inerenti gli incidenti singoli (14)

Il valore del parametro di dispersione associato alle SPF per i segmenti autostradali è valutato in funzione della lunghezza del segmento:

$$k_{fs,n,sv,z} = \frac{1.0}{K_{fs,n,sv,z} \times L^*}$$

Equazione 3.13: calcolo del parametro di dispersione

Dove:

$k_{fs,n,sv,z}$ = rappresenta il parametro di dispersione per i segmenti autostradali con n corsie, incidenti che vedono coinvolto un solo veicolo sv e gravità z ;

$K_{fs,n,sv,z}$ = è il parametro di dispersione inversa per segmenti autostradali con n corsie, incidenti autonomi sv e gravità z (mi^{-1}).

La frequenza media prevista per i sinistri autonomi, per categoria di incidente, si calcola moltiplicando l'incidentalità ottenuta dall'Equazione 3.12 per le proporzioni della Tabella 3.6.

La Tabella 3.7 riporta i coefficienti SPF da impiegare nel caso di sinistri autonomi:

Area Type	Crash Type Category	Proportion of Crashes by Severity	
		Fatal and Injury	Property Damage Only
Rural	Crash with animal	0.010	0.065
	Crash with fixed object	0.567	0.625
	Crash with other object	0.031	0.125
	Crash with parked vehicle	0.024	0.023
	Other single-vehicle crashes	0.368	0.162
Urban	Crash with animal	0.004	0.022
	Crash with fixed object	0.722	0.716
	Crash with other object	0.051	0.139
	Crash with parked vehicle	0.015	0.016
	Other single-vehicle crashes	0.208	0.107

Tabella 3.7: coefficienti SPF per gli incidenti che vedono implicato un solo veicolo su segmenti autostradali (14)

3.1.5 FATTORI DI MODIFICA DELL'INCIDENTE (CRASH MODIFICATION FACTOR - CMF)

I CMF vengono calibrati insieme alle SPF. Molti dei CMF della Tabella 3.8 sono stati trattati per determinate tipologie di sito, sezioni trasversali o gravità degli incidenti perché si vuole rendere il modello predittivo sensibile alle caratteristiche di progettazione geometrica e di controllo del traffico.

Applicable SPF(s)	CMF Variable ^a	CMF Description
Freeway segments or speed-change lanes	$CMF_{1, w, x, z}$	Horizontal curve
	$CMF_{2, w, x, y, fl}$	Lane width
	$CMF_{3, w, x, z}$	Inside shoulder width
	$CMF_{4, w, x, z}$	Median width
	$CMF_{5, w, x, z}$	Median barrier
	$CMF_{6, w, x, z}$	High volume
Multiple-vehicle crashes on freeway segments	$CMF_{7, fl, ac, mv, z}$	Lane change
Single-vehicle crashes on freeway segments	$CMF_{8, fl, ac, sv, z}$	Outside shoulder width
	$CMF_{9, fl, ac, sv, fl}$	Shoulder rumble strip
	$CMF_{10, fl, ac, sv, fl}$	Outside clearance
	$CMF_{11, fl, ac, sv, z}$	Outside barrier
Ramp entrances	$CMF_{12, zc, nEN, at, z}$	Ramp entrance
Ramp exits	$CMF_{13, zc, nEX, at, z}$	Ramp exit

Tabella 3.8: fattori di modifica degli incidenti in autostrada e corrispondenti SPF (14)

In questa sezione vengono presentati i CMF per la progettazione geometrica e le caratteristiche di controllo del traffico dei segmenti autostradali. Diversi CMF includono una variabile che quantifica la proporzione del segmento autostradale lungo la quale un particolare elemento (ad esempio, barriera, curva, striscia rumorosa) è presente.

La proporzione deve essere pari alla somma della lunghezza totale dell'elemento su entrambe le carreggiate diviso la lunghezza totale delle due carreggiate.

3.1.6 HIGHWAY SAFETY MANUAL IN PRESENZA DEL CANTIERE

Nel capitolo 16 (13) viene trattata la relazione tra la frequenza media degli incidenti e l'aumento della durata e della lunghezza della zona di lavoro in autostrada.

La condizione di base degli AMF (cioè la condizione in cui l'AMF è pari a 1,00) è una durata della zona di lavoro di 16 giorni e/o una lunghezza della zona di lavoro di 0,51 miglia (820.8 metri).

Nelle due successive formule (Equazione 3.14 e 3.15), considerando la durata e la lunghezza del cantiere, si determinano i fattori AMF:

$$AMF_{durata} = 1.0 + \frac{(\% \text{ incremento in durata} \times 1.11)}{100}$$

Equazione 3.14: aumento dell'incidentalità a causa dell'incremento della durata della zona di lavoro

Dove:

AMF_{durata} = è il fattore di modifica per tutte le tipologie e le gravità delle collisioni nella zona di lavoro;

% *incremento in durata* = rappresenta la variazione percentuale della durata (giorni) della zona di lavoro.

$$AMF_{lunghezza} = 1.0 + \frac{(\% \text{ incremento in lunghezza} \times 0.67)}{100}$$

Equazione 3.15: incremento della frequenza media degli incidenti a causa dell'aumento della lunghezza delle zone di lavoro (miglia)

Dove:

$AMF_{lunghezza}$ = il fattore di modifica per tutti i tipi di incidente e per tutte le gravità nella zona di lavoro;

% *incremento in lunghezza* = è la variazione percentuale della lunghezza (mi) della zona di lavoro.

Infine, per determinare il fattore AMF totale per la zona di lavoro, viene utilizzata l'Equazione 3.16:

$$AMF_{totale} = AMF_{durata} \times AMF_{lunghezza}$$

Equazione 3.16: calcolo AMF_{totale}

3.2 ANALISI DELLE MISURE PREVENTIVE (PROGETTO CEDR)

CEDR (Conference of European Directors of Roads - Conferenza dei Gestori Europei delle Strade) è un'organizzazione europea di enti stradali nazionali che promuove l'eccellenza nella gestione delle strade (15). Inoltre, permette alle autorità stradali nazionali di collaborare per sviluppare ulteriormente la sicurezza e l'efficienza delle reti stradali europee.

3.2.1 CONFERENCE OF EUROPEAN DIRECTORS OF ROADS - CEDR CALL 2012

Nel bando di ricerca 2012 sulla sicurezza, denominato "CEDR Call 2012: Safety Final Programme Report ASAP and BRoWSER Projects" (16), sono stati trattati tre progetti:

- ASAP (Appropriate Speed saves All People – Velocità Adeguata salva Tutte le Persone): si concentra sulla raccomandazione dei migliori metodi di controllo della velocità nelle zone di lavoro stradale;
- BRoWSER (Baselining Roadworks Safety on European Roads - Valutazione della sicurezza dei lavori stradali sulle strade europee): prende in considerazione il miglioramento della raccolta dei dati riguardo gli infortuni dei lavoratori e la presenza di situazioni che abbiano la caratteristica intrinseca di pericolosità. Questo progetto studia i layout ottimali dei cantieri stradali che consentono agli utenti della strada di avvicinarsi, attraversare e uscire dalla zona interessata dal cantiere senza causare infortuni ai lavoratori e agli altri;
- SAVeRS (Selection of Appropriate Vehicle Restraint Systems - Selezione di sistemi di protezione del veicolo adeguati): ha sviluppato un documento di orientamento per gli enti stradali nazionali rispetto alla progettazione, selezione e installazione dei sistemi di protezione del veicolo (VRS).

I progetti ASAP e BRoWSER si occupano della sicurezza dei lavoratori impegnati in progetti di costruzione, manutenzione, di recupero veicoli e di qualsiasi altra attività con presenza di traffico.

L'obiettivo è quello di ridurre i rischi per gli operai mediante l'analisi degli effetti della velocità dei veicoli sull'incidentalità, l'esame delle norme applicabili ai lavori e attraverso conoscenze migliori sugli incidenti.

La condivisione delle migliori procedure e prestazioni tra i diversi Paesi, ma anche tra le organizzazioni e le autorità di una stessa Nazione, può essere di grande utilità.

3.2.2 PROGETTO “APPROPRIATE SPEED SAVES ALL PEOPLE – ASAP”

La gestione della velocità nelle zone di cantiere è importante per la sicurezza degli utenti della strada e dei lavoratori. La scelta e il controllo della velocità sono necessari per garantire al conducente l'attraversamento della zona di lavoro senza che il veicolo entri nelle aree riservate del cantiere. Lo sconfinamento del veicolo potrebbe causare lesioni agli occupanti della vettura e agli operatori stradali, oltre a danneggiare le attrezzature di lavoro e i veicoli.

In questo progetto vengono analizzati e proposti metodi di gestione della velocità nelle zone di lavoro, utilizzando i dati sulla sicurezza dei cantieri stradali europei e mondiali. Sono stati affrontati tre elementi chiave per lo sviluppo di documenti armonizzati per le aree di cantiere in Europa:

- revisione dei risultati precedenti;
- reperimento dei dati disponibili per confermare e monitorare le migliori procedure;
- consultazione delle parti interessate per identificare il contenuto e la tipologia delle informazioni.

L'obiettivo del progetto ASAP era quello di fornire un documento di buone pratiche applicabile in tutta Europa, con raccomandazioni su come gestire efficacemente la velocità nelle zone di lavoro.

I livelli di velocità selezionati devono essere:

- appropriati rispetto alle caratteristiche della strada e della pavimentazione;
- credibili in ogni area del cantiere stradale, compresa non solo la zona di lavoro, ma anche l'area di preavviso e le aree di transizione;
- scelti tali per cui la varianza della velocità sia bassa, in modo da diminuire il più possibile i tassi di incidente.

Le linee guida ASAP suggeriscono 23 diverse misure che possono essere utilizzate per raggiungere una velocità adeguata nelle zone di lavoro:

- riduzione temporanea del limite di velocità tramite l'utilizzo del cartello fisso di limite di velocità;
- riduzione temporanea del limite di velocità mediante l'uso del cartello mobile di limite di velocità;
- controllo automatizzato della velocità (autovelox);
- controllo automatizzato della velocità (controllo di sezione);
- display per il monitoraggio della velocità del conducente;
- autovelox con preavviso al lavoratore;
- cartello dell'autovelox;
- presenza della polizia;
- manichino della polizia;
- sanzione amministrativa;
- chicane;
- progettazione dei crossover;

- separazione temporanea dei sensi di marcia;
- controllo del traffico (sbandiatore);
- controllo del traffico mediante l'utilizzo di dispositivi di segnalazione automatica;
- controllo del traffico (pilot vehicle);
- bande sonore adesive;
- bande sonore portatili;
- optical speed bars;
- pannelli a messaggio variabile;
- messaggi emozionali.

Alcune delle precedenti misure riducono la velocità solo di pochi chilometri orari. La maggior parte di esse hanno dei limiti in termini di efficacia e per questo motivo spesso si ricorre a delle combinazioni tra le diverse procedure.

Le linee guida ASAP non danno indicazioni sul livello dei limiti di velocità per i diversi layout dei lavori stradali. È stato messo in evidenza che non sempre il limite di velocità più basso sia anche il migliore, ma quello appropriato protegge i lavoratori e gli utenti della strada e consente una transizione agevole dall'area di cantiere.

È stato inoltre discusso che piccole riduzioni del limite di velocità potrebbero essere preferibili se possibili e se i lavoratori possono essere adeguatamente protetti. Invece, se sono necessarie grandi variazioni di velocità, si raccomanda di utilizzare intervalli di 20 km/h per ottenere una transizione graduale.

Per raggiungere velocità adeguate è importante che i limiti di velocità siano credibili e comprensibili e ciò si ottiene attraverso un'attenta progettazione della zona di lavoro.

In generale, è utile disporre di informazioni preventive adeguate sull'ubicazione dell'area di cantiere, combinate con delle misure fisiche tali da indurre l'utente della strada a un comportamento di guida più sicuro.

3.2.3 CONFERENCE OF EUROPEAN DIRECTORS OF ROADS - CEDR CALL 2016

Il CEDR Call 2016 Safety (15) ha l'obiettivo di fornire, alle varie autorità stradali, strumenti pratici per aumentare la sicurezza e illustrare le informazioni in modo tale che gli Stati membri siano in grado di aggiornare e sviluppare le proprie linee guida nazionali.

I temi trattati, nel bando di ricerca del 2016, hanno riguardato le incursioni nelle zone di lavoro, la distrazione dei conducenti, la sicurezza dei cigli stradali e gli utenti vulnerabili della strada.

Sono stati selezionati quattro progetti:

- ADVERTS (Assessing Distraction of Vehicle drivers in Europe from Roadside Technology-based Signage – Valutazione della distrazione dei conducenti di veicoli in Europa a causa della segnaletica tecnologica a bordo strada);
- IRIS (Incursion Reduction to Increase Safety at Road Work Zones – Riduzione dell'incidentalità aumentando la sicurezza nelle zone di lavoro);
- PROGRESS (Linee guida per la Sicurezza stradale);
- SANA-4U (Safety for Vulnerable Road Users in Non-Urban Areas - Sicurezza per gli utenti stradali più vulnerabili nelle aree non urbane).

3.2.4 PROGETTO “INCURSION REDUCTION TO INCREASE SAFETY AT ROAD WORK ZONES – IRIS”

Il progetto IRIS si è basato sulle precedenti ricerche del CEDR, tra cui quelle effettuate in ASAP e in BROWSER.

I principali obiettivi del progetto IRIS sono:

- fornire una panoramica delle migliori pratiche di gestione del traffico;
- illustrare le procedure ottimali in materia di audit e di controlli della sicurezza stradale nella zona di lavoro. Il Road Safety Audit Program si occupa della verifica di sicurezza delle strade (17);
- condividere informazioni riguardo la gestione temporanea del traffico per le zone di lavoro a breve, medio e lungo termine;
- fornire informazioni e strumenti alle varie autorità nazionali in modo che siano in grado di migliorare le loro linee guida, strategie e procedure.

Inizialmente è stata effettuata un'analisi delle collisioni registrate in corrispondenza e in prossimità delle zone di lavoro stradali. Da questa indagine è emerso che la maggior parte dei sinistri mortali si è verificata in corrispondenza di lavori stradali fissi.

Successivamente, è stata condotta una revisione della letteratura per esaminare la relazione tra gli incidenti e i cantieri stradali. Secondo studi precedenti, diversi fattori umani (salute dei conducenti, la distrazione e la percezione dell'ambiente di lavoro) contribuiscono al legame tra le collisioni e le zone di lavoro stradali.

I lavoratori possono anche mettere in atto comportamenti non sicuri dopo aver acquisito familiarità con i rischi che incontrano lavorando in prossimità del traffico. Inoltre, la pressione del carico di lavoro può causare un aumento del rischio, ad esempio, quando gli operai sono sottoposti a vincoli di tempo e sono costretti ad eludere le procedure di sicurezza per finire prima.

Gli esperti della sicurezza stradale sono stati intervistati per discutere delle pratiche attuali e dei vari problemi di sicurezza in prossimità delle aree di cantiere.

Il periodo più rischioso si ha durante la creazione e la rimozione delle zone di lavoro a causa della maggiore esposizione al traffico dei lavoratori. Il progetto IRIS si è occupato della revisione delle procedure esistenti nelle aree di cantiere e anche di illustrare le buone pratiche atte a prevenire le incursioni nelle zone di lavoro stradali.

3.3 MODELLI DI PREVISIONE DEGLI INCIDENTI IN AMBITO EUROPEO (PROGETTO PRACT)

Il progetto PRACT (Predicting Road Accidents: a Transferable methodology across Europe – Previsione degli incidenti stradali: una metodologia trasferibile in tutta Europa) (18) ha l'obiettivo di sviluppare dei modelli di previsione delle collisioni per le reti stradali europee tramite opportune calibrazioni.

Lo scopo del progetto è quello di sviluppare una procedura che consenta di trasferire i modelli di previsione dei sinistri (APM) e i fattori di modifica degli incidenti (CMF) per le diverse condizioni da quelle per cui sono stati sviluppati, concentrandosi maggiormente su autostrade e strade rurali a due corsie a doppio senso di marcia.

I CMF sono dei fattori che quantificano la riduzione del tasso dei sinistri a seguito dei trattamenti di sicurezza effettuati sulle strade. Le agenzie stradali e i ricercatori, tramite l'utilizzo dei CMF, riescono a comprendere l'efficacia degli interventi di sicurezza.

Il CMF è uguale al rapporto tra la frequenza degli incidenti prevista dopo l'implementazione di una determinata misura e la frequenza di collisioni stimata in assenza di tale modifica.

Sono stati stimati i CMF per le seguenti contromisure:

- presenza di una zona di lavoro, controllo della velocità media e dello strato di usura ad alto attrito per le autostrade italiane;
- composizione del traffico, larghezza della strada, curvatura orizzontale, pendenza verticale per le strade rurali tedesche a due sensi di marcia e a due corsie;
- composizione del traffico, curvatura orizzontale e pendenza verticale per le strade rurali inglesi a due sensi di marcia e a due corsie.

Sono stati utilizzati due approcci distinti per stimare i CMF perché la scelta della metodologia è dipesa dal tipo di fattore da stimare e dalla disponibilità di dati.

Il Metodo Empirical Bayes Before – After (EB) è stato usato per stimare l'effetto delle zone di lavoro, degli strati di usura ad alto attrito e del controllo della velocità media sui tassi di incidentalità delle autostrade italiane. Il vantaggio di questo approccio è che controlla gli effetti della regressione alla media dal momento che i trattamenti tendono ad essere implementati nei luoghi dove si sono concentrati i tamponamenti.

Invece, i CMF sviluppati in Germania e Inghilterra sono stati ricavati tramite l'utilizzo di modelli binomiali negativi. La metodologia può fornire stime dei tassi di incidentalità che non dipendono dalla composizione del traffico, dalla larghezza della strada, dalla curvatura orizzontale e dalla pendenza verticale.

Nella Tabella 3.9 sono presenti i CMF sviluppati dal progetto PRACT:

Countermeasure/ feature	Country	Methodology	Value/ function	Injury Type	Crash Type
Presence of a work zone	Italy	Empirical- Bayes	0.84-3.11 depending on work zone layout (1.33 on average)	F+I	ALL
Speed enforcement (section control)	Italy	Empirical- Bayes	0.52-1.55 depending on injury & crash type Insignificant effect for some injury & crash types	Various	Various
High friction wearing course	Italy	Empirical- Bayes	0.27	F+I	ROR, wet pavement
Horizontal curvature	England	Negative Binomial	no significant effect	F+I	ALL
Vertical gradient (V)	England	Negative Binomial	$CMF = e^{0.09 \cdot \Delta V}$	F+I	ALL
% HGV (HGV)	England	Negative Binomial	$CMF = e^{-7.58 \cdot \Delta HGV}$	F+I	ALL
% two wheel traffic	England	Negative Binomial	no significant effect	F+I	ALL
Road width	Germany	Negative Binomial	$CMF = e^{-0.17 \cdot \Delta RW}$	F+I	ALL
Horizontal curvature (HC)	Germany	Negative Binomial	$CMF = e^{0.003 \cdot \Delta HC}$	F+I	ALL
Vertical gradient (V)	Germany	Negative Binomial	no significant effect	F+I	ALL
% HGV (HGV)	Germany	Negative Binomial	no significant effect	F+I	ALL

Tabella 3.9: sintesi dei CMF stimati nell'ambito di PRACT (F = mortale; I = feriti; ROR = incidente autonomo che si verifica quando un veicolo esce dalla carreggiata) (18)

Le aree di cantiere sono delle zone critiche della rete autostradale in termini di sicurezza, in quanto i conducenti sono costretti ad affrontare manovre che possono causare ulteriori punti di conflitto tra i percorsi dei veicoli. Le zone di lavoro sulle autostrade sono pericolose, sia per i lavoratori che per gli automobilisti, anche a causa della complessa serie di segnali, delineatori e cambi di corsia.

I ricercatori, tramite i dati italiani, hanno stimato i CMF per il controllo della velocità media in base al tempo di percorrenza su un determinato segmento autostradale. Si ritiene che la velocità abbia un effetto sugli incidenti e sulla loro gravità.

Infine, sono stati valutati i fattori CMF relativi all'adozione degli strati di usura ad alto attrito nelle autostrade rurali.

I dipartimenti di trasporto degli stati della Pennsylvania, Kentucky e South Carolina hanno condotto degli studi "before – after" per valutare la variazione dei tassi di incidentalità prima e dopo il trattamento. A seguito dell'implementazione delle varie misure di sicurezza si è assistito ad una riduzione delle collisioni, rispettivamente, del 100%, 90% e 57%.

3.3.1 EMPIRICAL BAYES BEFORE – AFTER

Si supponga che una contromisura venga implementata in un certo numero di siti nel tempo. I luoghi che hanno ricevuto un determinato trattamento sono chiamati “siti trattati”.

Il periodo precedente all’applicazione della contromisura viene chiamato “before period – periodo precedente” mentre il periodo successivo al trattamento come “after period – periodo successivo”.

Nei siti trattati, nel periodo precedente, il numero atteso di incidenti è stimato come somma ponderata del numero di sinistri osservato nei tronchi autostradali che hanno subito delle lavorazioni nel periodo precedente e del numero di collisioni previsto, per il periodo antecedente, per quei siti che non hanno ricevuto nessuna miglioria ma che possiedono caratteristiche simili a quelli trattati:

$$N_{EXP,B} = N_{PRED,B} \times w + N_{OBS,B} \times (1 - w)$$

Equazione 3.17: numero previsto di collisioni nel periodo precedente

dove:

$N_{EXP,B}$ = è il numero atteso di incidenti nel periodo precedente;

$N_{PRED,B}$ = è il numero previsto di sinistri per le entità di riferimento che sono simili alle entità del gruppo di trattamento nel periodo precedente;

$N_{OBS,B}$ = rappresenta il numero di collisioni rilevati nel periodo precedente nei siti trattati;

w = è il peso scelto in modo che la varianza di $N_{EXP,B}$ sia minimizzata.

Il numero ipotizzato di incidenti $N_{PRED,B}$ viene stimato utilizzando le Safety Performance Function (SPF). Le funzioni SPF fanno riferimento ai dati che provengono dai siti che non hanno subito nessun trattamento ma che presentano caratteristiche simili rispetto ai luoghi a cui è stata implementata una contromisura.

Le formule utilizzate per calcolare $N_{PRED,B}$ e N_{SPF} sono già state descritte nel Capitolo 1:

$$N_{PRED,B} = N_{SPF} \times (CMF_1 \times CMF_2 \times \dots \times CMF_m) \times C$$

Equazione 3.18: calcolo di $N_{PRED,B}$

Dove:

$$N_{SPF} = L \times \exp[a + b \times \ln(c \times AADT)]$$

Equazione 3.19: calcolo di N_{SPF}

I coefficienti a e b sono coefficienti di regressione mentre il coefficiente c è un parametro di scala AADT.

I fattori CMF riflettono le variazioni dei siti di interesse rispetto alle condizioni base per cui è stata sviluppata la funzione N_{SPF} .

Il fattore di calibrazione C si stima prendendo in considerazione i luoghi con caratteristiche simili ai siti trattati.

Invece, per valutare la frequenza degli incidenti prevista per le autostrade, realizzate con manti di usura ad alto attrito, bisogna usare la seguente relazione (Equazione 3.20) per determinare N_{SPF} :

$$N_{SPF} = l \times e^{\beta_0 + \beta_1 \times \log(AADT)}$$

Equazione 3.20: calcolo di N_{SPF} nel caso di manti di usura ad alto attrito

I sinistri attesi nel periodo successivo in assenza di un trattamento $N_{EXP,A}$ possono essere stimati mediante la formula consecutiva (Equazione 3.21):

$$N_{EXP,A} = N_{EXP,B} \times \frac{N_{PRED,A}}{N_{PRED,B}}$$

Equazione 3.21: calcolo di $N_{PRED,A}$

Dove:

$N_{PRED,A}$ = rappresenta il numero ipotizzato di sinistri nel periodo successivo in assenza di trattamento.

3.3.2 MODELLI BINOMIALI NEGATIVI

La distribuzione binomiale negativa è ampiamente utilizzata per modellare i tassi di incidenti.

La probabilità che si verifichino y incidenti in un anno, dato un parametro μ , è definita come:

$$P(y/\mu) = \frac{e^{-\mu}}{y!}$$

Equazione 3.22: calcolo della probabilità di accadimento delle collisioni in un anno

Il numero atteso di sinistri μ si calcola usando l'Equazione 3.23:

$$\mu = E(y/x, \alpha) = \exp \left[\beta_0 + \ln(L) + \beta_{AADT} \ln(AADT) + \sum x_i \beta_i + t \right] v$$

Equazione 3.23: numero previsto di sinistri

Dove:

v = è una variabile indipendente e identicamente distribuita che segue una distribuzione Gamma ($1/a, \alpha$), dove a è un parametro da stimare ($a > 0$);

L = è la lunghezza del segmento (metri);

$AADT$ = è il volume del traffico (veh/giorno);

x = è un vettore di fattori che influenzano gli incidenti y . I fattori sono la larghezza della corsia, la percentuale di veicoli pesanti, la curvatura orizzontale e la pendenza verticale;

t = è una variabile che rappresenta l'andamento temporale;

$\beta_0, \beta_L, \beta_{AADT}$ e $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_i \dots =$ sono un insieme di parametri da stimare).

3.3.3 FATTORI DI MODIFICA DEGLI INCIDENTI - CMF

Lo studio ha utilizzato i dati degli incidenti che si sono verificati nella rete autostradale italiana gestita da ASPI.

Per ogni sinistro sono stati forniti diversi dettagli come la data, l'ora, la localizzazione sul segmento autostradale, la pavimentazione, le condizioni atmosferiche e del manto stradale, il numero di morti/feriti, la gravità dei feriti, il numero e il tipo di veicoli coinvolti, la presenza di una zona di lavoro.

I dati di traffico sono disponibili per ogni segmento omogeneo autostradale. La Figura 3.2 descrive in maniera sintetica le diverse tipologie di layout riguardanti le zone di lavoro autostradali:

Code name	Work zone layout description
TWO-LANE CARRIEGEWAY	
Emergency2	Closure of emergency lane (outside paved shoulder)
Slow2	Closure of slow lane with traffic diverted to overtaking lane
Fast2	Closure of overtaking lane with traffic diverted to slow lane
Fast2(2)	Closure of overtaking lane with traffic diverted to slow & emergency lanes
Cross2(0+1)	Closure of slow lane with traffic diverted to overtaking lane; closure of overtaking lane and total diversion of traffic to the opposite carriageway through a single-lane crossover
Cross2(1+1)	Closure of slow lane with traffic diverted to overtaking lane; partial diversion of traffic to the opposite carriageway through a single-lane crossover (the driver is allowed to choose whether to stay on the overtaking lane or move to the opposite carriageway)
THREE-LANE CARRIEGEWAY	
Emergency3	Closure of emergency lane (outside paved shoulder)
Slow3	Closure of slow lane with traffic diverted to middle lane
Slow&Middle3	Closure of slow lane with traffic diverted to middle lane; closure of middle lane with traffic diverted to overtaking lane
Fast3	Closure of overtaking lane with traffic diverted to middle lane
Middle&Fast3	Closure of overtaking lane with traffic diverted to middle lane; closure of middle lane with traffic diverted to slow lane
Fast3(3)	Closure of overtaking lane with traffic diverted to middle, slow & emergency lanes
Middle&Fast3(2)	Closure of overtaking lane with traffic diverted to middle lane; closure of middle lane with traffic diverted to slow and emergency lanes
Cross3(1+1)	Closure of overtaking with traffic diverted to middle lane; closure of middle lane and partial diversion of traffic to slow lane & opposite carriageway through a single-lane crossover (driver can choose between slow lane and opposite carriageway)
Cross3(0+1)	Closure of slow lane with traffic diverted to middle lane; closure of middle lane with traffic diverted to overtaking lane and total diversion of traffic to the opposite carriageway through a single-lane crossover
Cross3(0+2)	Closure of slow lane with traffic diverted to middle lane; closure of carriageway and total diversion of traffic to the opposite side through a dual-lane crossover

Figura 3.2: descrizione dei layout delle zone di lavoro (18)

I fattori CMF riguardano tutte le collisioni con morti e feriti. Nella Tabella 3.10 sono riportati i valori dei fattori CMF per le varie configurazioni delle zone di lavoro:

Countermeasure description	Country	Value	Standard error	Crash severity	Crash types
Work zone layout Cross2(1+1)	Italy	3.11	0.56	F+I	ALL
Work zone layout Cross3(1+1)	Italy	2.8	0.52	F+I	ALL
Work zone layout Cross3(0+1)	Italy	2.15	0.52	F+I	ALL
Work zone layout Cross2(0+1)	Italy	2.08	0.09	F+I	ALL
Work zone layout Slow&Middle3	Italy	1.91	0.56	F+I	ALL
Work zone layout Middle&Fast3	Italy	1.9	0.71	F+I	ALL
Work zone layout Fast2(2)	Italy	1.64	0.08	F+I	ALL
Work zone layout Slow2	Italy	1.62	0.12	F+I	ALL
Work zone layout Fast3(3)	Italy	1.51	0.18	F+I	ALL
Work zone layout Fast3	Italy	1.49	0.1	F+I	ALL
Work zone layout Emergency2	Italy	1.27	0.04	F+I	ALL
Work zone layout Cross3(0+2)	Italy	1.25	0.1	F+I	ALL
Work zone layout Fast2	Italy	1.08	0.06	F+I	ALL
Work zone layout Slow3	Italy	1.03	0.05	F+I	ALL
Work zone layout Emergency3	Italy	1	0.04	F+I	ALL
Work zone layout Middle&Fast3(2)	Italy	0.84	0.07	F+I	ALL
Presence of a work zone (any layout)	Italy	1.33	0.02	F+I	ALL
Speed enforcement - section control	Italy	0.99	0.10	F+I	SV
Speed enforcement - section control	Italy	1.06	0.05	PDO	SV
Speed enforcement - section control	Italy	1.12	0.10	F+I	MV
Speed enforcement - section control	Italy	1.55	0.10	PDO	MV
Speed enforcement - section control	Italy	1.02	0.08	F+I	SV
Speed enforcement - section control	Italy	0.86	0.04	PDO	SV
Speed enforcement - section control	Italy	0.88	0.05	F+I	MV
Speed enforcement - section control	Italy	0.88	0.04	PDO	MV
Speed enforcement - section control	Italy	0.95	0.11	F+I	SV
Speed enforcement - section control	Italy	0.85	0.05	PDO	SV
Speed enforcement - section control	Italy	0.81	0.06	F+I	MV
Speed enforcement - section control	Italy	0.75	0.05	PDO	MV
Speed enforcement - section control	Italy	0.76	0.19	F+I	SV
Speed enforcement - section control	Italy	0.89	0.11	PDO	SV
Speed enforcement - section control	Italy	0.6	0.09	F+I	MV
Speed enforcement - section control	Italy	0.52	0.07	PDO	MV
High friction wearing course	Italy	0.27	0.10	F+I	ROR, wet pavement

Tabella 3.10: stima dei CMF riguardanti le zone di lavoro, il controllo della velocità e gli strati di usura ad alto attrito (18)

CAPITOLO 4 - FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI AUTOSTRADALI

In questo capitolo sono stati esaminati, in maniera approfondita, i fattori che pregiudicano la sicurezza degli utenti e degli operai nelle aree di cantiere autostradali.

Nell'Appendice 1, sono stati analizzati i legami che intercorrono tra gli incidenti e i flussi di traffico, le condizioni meteorologiche e le caratteristiche della superficie stradale presenti nei tronchi autostradali non soggetti ai lavori.

Gli stessi fattori che pregiudicano gli standard di sicurezza, nelle aree adiacenti ai cantieri, comportano un incremento dei rischi per gli utenti che transitano in un tronco autostradale in cui le condizioni di marcia non sono soggette a nessun tipo di turbativa.

4.1 RELAZIONE TRA INCIDENTI E LUNGHEZZA DEL CANTIERE

La lunghezza di un cantiere autostradale è uno dei fattori che pregiudica la sicurezza nei pressi di una zona di lavoro poiché all'aumentare dell'estensione della zona soggetta alle attività di cantiere i conducenti sono maggiormente esposti a diversi rischi come avere delle interazioni sia con i mezzi pesanti utilizzati dagli operai che con le altre vetture a causa della probabile congestione. Tutto questo è confermato dall'analisi effettuata dai professori A. Pigman e K. R. Agent (19), in quanto è emerso che nelle zone di lavoro di costruzione si è avuta un'alta percentuale di incidenti rispetto alle aree di cantiere dove vengono effettuate attività manutentive per via della maggiore esposizione in termini di lunghezza dei lavori.

Nel documento (20), inerente allo studio condotto dai docenti Khattak et al, è stato effettuato un confronto tra il numero di collisioni avuti nel periodo precedente ai lavori e quelli avvenuti durante le attività di cantiere mediante il seguente tasso di incidentalità totale (CR):

$$CR = \frac{\sum T}{\sum(A \times L \times D)/10^6}$$

Equazione 4.1: calcolo del tasso di incidentalità totale

Dove:

T = è il numero totale di collisioni in una zona di lavoro;

A = rappresenta il traffico giornaliero medio (traffico/giorno);

L = indica la lunghezza del cantiere (Km);

D = è la durata dell'osservazione [giorni].

Il tasso di incidentalità totale si ottiene sommando la percentuale degli incidenti che hanno causato solo danni alle cose (pdo) e la porzione delle collisioni che vedono coinvolti dei feriti.

Nel periodo precedente ai lavori autostradali, il tasso *CR* era uguale a 0,65 incidenti per milione di chilometri-veicolo (MVKM), di cui 0,42 collisioni per MVKM erano di tipo *pdo* e invece nelle rimanenti 0,23 sinistri per MVKM si sono registrati feriti tra i passeggeri delle vetture.

Durante le attività di cantiere si è ottenuto un tasso di incidentalità totale pari a 0,79 collisioni per MVKM, che risulta essere superiore del 21,53% rispetto a quello riscontrato nel periodo antecedente l'inizio dei lavori. I tassi di incidenti durante i lavori sono stati uguali a 0,52 per MVKM per le collisioni in cui tutti i passeggeri sono rimasti illesi e a 0,27 per MVKM in quelli in cui si sono avuti dei feriti. Pertanto, il numero di collisioni per milione di chilometri-veicolo, durante il periodo dei lavori autostradali, ha subito un incremento rispetto al periodo precedente e si è assistito ad un aumento maggiore del tasso dei sinistri con soli danni alle cose rispetto a quello in cui si sono avuti dei feriti.

Sempre nel medesimo report (20) è stato sviluppato un modello binomiale negativo, per stimare la frequenza degli incidenti con e senza feriti, che può essere riscritto come segue:

$$Y = (x_1)^{1.2659}(x_2)^{1.1149}(x_3)^{0.6718} \exp(-0.2257x_4) \\ \times \exp(-0.5126x_5) \exp(0.1988x_6) \exp(-17.7748)$$

Equazione 4.2: stima della frequenza dei sinistri con e senza feriti

dove:

Y = è il numero previsto di incidenti totali nelle aree di cantiere;

x_1 = rappresenta l'ADT medio registrato in una determinata zona di lavoro (veicoli/giorno);

x_2 = è la durata dei lavori (giorni);

x_3 = è la lunghezza dei cantieri (Km);

x_4 = è uguale a 1 se l'autostrada in esame si trova in un'area urbana, 0 altrimenti;

x_5 = è pari a 1 solo se l'incidente provoca dei feriti;

x_6 = viene assunto uguale a 1 se i sinistri sono stati registrati durante le attività di cantiere, 0 altrimenti.

I ricercatori hanno ottenuto le stime dei parametri di ADT, della durata e della lunghezza del cantiere e ne consegue che all'aumentare del flusso di traffico, della durata e dell'estensione del tronco autostradale interessato dai lavori si registra un incremento dell'incidentalità. Un incremento dell'1% dell'ADT e della lunghezza del cantiere comporta un aumento della frequenza degli incidenti rispettivamente dell'1,2659% e dello 0,6718%.

Un altro modello, utilizzato dai ricercatori, mette in evidenza i fattori che influenzano la frequenza degli incidenti non gravi nel periodo antecedente l'inizio dei lavori. Relativamente alla lunghezza della zona di lavoro non si è ottenuta una proporzionalità (uno a uno) tra l'incidentalità e l'estensione del cantiere dal momento che è stata ricavata una stima del parametro inferiore all'unità.

Dall'analisi seguente (20) si deduce che la lunghezza del cantiere non è una variabile importante ai fini della riduzione della frequenza delle collisioni nelle zone di lavoro.

Nel corso di aggiornamento CSP/CSE tenuto dall'ispettore F. Gallo, è stata analizzata la gestione della sicurezza nei cantieri stradali (21).

All'aumentare dell'estensione della zona soggetta ai lavori, oltre ai rischi citati in precedenza, si riscontra un aumento della probabilità di imbattersi in veicoli merci che viaggiano più lentamente del previsto (21). Per questo motivo, uno degli svantaggi di predisporre dei cantieri molto lunghi consiste nel causare dei rallentamenti con la conseguente formazione di code.

Gli ingegneri, nel valutare l'opportuna estensione dell'area di lavoro, devono anche prendere in considerazione la frequenza dei cantieri in un tronco autostradale.

Un numero elevato di zone di cantiere può procurare i seguenti rischi (21):

- eccessive turbative al traffico con la conseguenza di causare seri disagi alla circolazione;
- maggiori rischi di incidenti;
- è una situazione snervante per gli automobilisti, i quali possono sviluppare comportamenti aggressivi.

4.2 RELAZIONE TRA INCIDENTI E DURATA DEL CANTIERE

In diversi report si è analizzato il legame tra la durata dei lavori e l'incremento dei rischi interferenziali in quanto si verifica un aumento dei sinistri a causa dell'esposizione al cantiere.

L'articolo precedente (20) analizza anche l'effetto della durata delle zone di cantiere perché è un fattore utilizzato per ridurre al minimo l'esposizione degli utenti della strada e dei lavoratori. Attraverso una serie di dati sulle zone di lavoro in autostrada, questa analisi fornisce informazioni sulla variazione dell'incidentalità a seguito dell'inizio delle attività di cantiere.

È stata utilizzata l'Equazione 4.2, utilizzata per stimare la frequenza dei sinistri con o senza feriti, per prendere in considerazione la relazione tra la durata del cantiere e il tasso di incidentalità. In dettaglio, tramite l'utilizzo di un modello statistico, si è ottenuta una stima del parametro riguardante la durata dei lavori pari a 1.1149% e pertanto all'aumentare dell'1% della durata delle attività di cantiere si osserva un incremento dell'1.1149% della frequenza dei sinistri.

Considerando la variabile durata dei cantieri, il report (20) ha esaminato quattro modelli distinti, quali gli incidenti con soli danni alle cose e quelli che vedono coinvolti dei feriti, in un periodo precedente all'inizio dei lavori e durante l'esecuzione delle attività cantieristiche poiché sono state riscontrate differenze riguardo ai tassi delle collisioni nei due periodi presi in esame.

Nel modello che tiene in conto della frequenza degli incidenti non gravi rilevati nel periodo precedente i lavori, il parametro stimato per il logaritmo naturale della durata è vicino all'unità e statisticamente significativo, a dimostrazione del fatto che una maggiore durata dei cantieri comporta un incremento della frequenza dei sinistri.

Nel successivo modello, ovvero quello relativo agli incidenti non mortali durante la zona di lavoro, si è ottenuto un parametro positivo e maggiore di uno. Un aumento dell'1% della durata delle attività di cantiere comporta un incremento degli incidenti non mortali dello 0.9919% e dell'1.2317%, rispettivamente prima e nel corso dei lavori.

Analizzando la relazione tra la durata del cantiere e la frequenza degli incidenti con feriti, si è ricavata una stima del logaritmo naturale della durata compresa tra lo 0.3040% e l'1.2684% nella fase antecedente l'inizio dei lavori e tra lo 0.9751% e l'1.5347% nel periodo del cantiere.

Da questa analisi si arguisce che al diminuire della durata delle attività lavorative si ottiene una riduzione maggiore della frequenza degli incidenti gravi rispetto a quelli dove non si hanno feriti tra i passeggeri coinvolti.

A riprova di quanto illustrato precedentemente, in un ulteriore studio eseguito da Nagui M. Roupail et al (22), si sono confrontati il numero di incidenti osservati in cantieri a lungo e breve termine prima, durante e dopo i lavori di costruzione e di manutenzione di alcune autostrade statunitensi. È emerso che nei siti a lungo termine il tasso di incidenti è aumentato in media dell'88% durante i lavori rispetto al periodo precedente ed è diminuito in media del 34% nel periodo successivo mentre per i cantieri a breve termine è stato osservato un'incidentalità quasi costante pari a 0,80 sinistri/miglio-giorni nel corso delle attività di cantiere.

4.3 RELAZIONE TRA INCIDENTI E IL TRAFFICO

Le aree a ridosso di un cantiere autostradale sono soggette a numerosi sinistri in funzione del numero di utenti che transitano nel tratto in questione.

È stata analizzata la relazione tra la congestione del traffico e l'incidentalità dal momento che si è dimostrato, come illustrato nello studio (19), che il traffico è il parametro che incide maggiormente sul numero di tamponamenti nelle zone di lavoro.

Il legame che esiste tra i volumi di traffico e l'incremento dei rischi interferenziali a cui sono esposti gli automobilisti e gli operatori stradali è stato anche esaminato negli studi condotti dai ricercatori Jun Wang et al (23) e da Raghavan Srinivasan et al (24).

Nel report (23) è stato dimostrato che i flussi di traffico elevati che caratterizzano le autostrade, in combinazione con le distrazioni degli automobilisti e le interruzioni del traffico nelle aree di cantiere, comportano un incremento dei pericoli.

Il numero di sinistri, nelle zone di lavoro, è maggiore sulle principali autostrade che sono localizzate nelle aree urbane in quanto è probabile osservare un numero elevato di lavori stradali e giacché i forti volumi di traffico combinati con le attività di cantiere causano un aumento del numero degli incidenti. Nel seguente report è stato usato un tasso di incidentalità, analogo a quello adoperato nell'articolo (20), per determinare il numero di collisioni osservati in un miglio di segmento autostradale considerando la lunghezza, la durata e il traffico giornaliero medio (ADT).

Nel report (24) è stata utilizzata un'altra variabile che tiene in considerazione la densità della popolazione nelle contee dello stato di New York. È stata dimostrata la correlazione tra la densità e l'ADT e per questo motivo si è accertato un maggior rischio di incidenti di tamponamento nelle zone afflitte da alti tassi di congestione del traffico.

Dalla Figura 4.1 è possibile constatare quanto detto precedentemente poiché le contee più densamente popolate, come quelle situate nell'area metropolitana di New York e di Buffalo, sono maggiormente soggette ai tamponamenti.

CAPITOLO 4. FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI AUTOSTRADALI

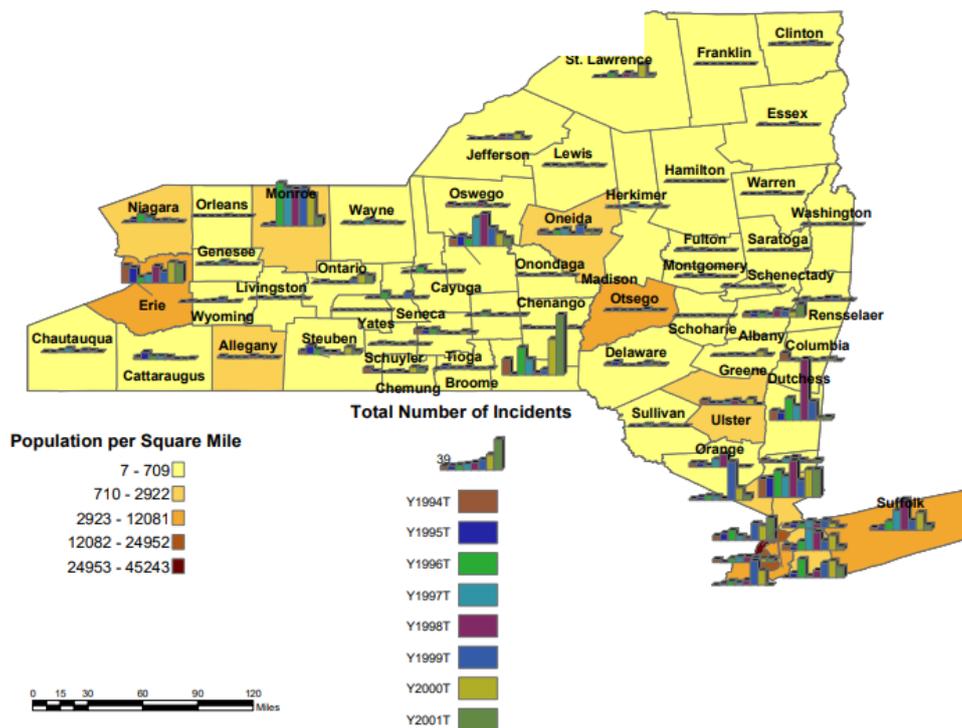


Figura 4.1: numero totale di tamponamenti rispetto alla popolazione a seconda degli anni (24)

Utilizzando i dati inerenti ai sinistri osservati nei tronchi autostradali interessati dai cantieri, lo studio (20) fornisce informazioni sulla variazione del tasso di incidentalità tra il periodo in cui si realizzano i lavori e il periodo antecedente considerando anche la variabile traffico. I tamponamenti e le collisioni laterali si verificano con maggiore frequenza nelle zone di lavoro e si è appurato che i controlli del traffico, effettuati dalle forze dell'ordine, influenzano il tasso di incidenti.

Nel periodo precedente all'istituzione delle aree di cantiere sono stati osservati 6052 incidenti in un lasso di tempo pari a 504 giorni mentre durante i lavori si sono verificati 2038 collisioni in un periodo uguale a 125 giorni. Confrontando le due fasi, il tasso di incidentalità totale è aumentato del 21.53%, di cui quello riguardante solo i sinistri non gravi del 23.80% mentre nel caso delle collisioni con feriti a bordo si è assistito ad un incremento del 17.40%.

È stato utilizzato un primo modello binomiale negativo che stima il numero totale degli incidenti attesi nelle zone di lavoro esaminando diversi fattori, tra cui la durata, la lunghezza del cantiere e il traffico giornaliero medio (ADT). Secondo i risultati ottenuti dal modello, un incremento pari all'1% dell'ADT causa un aumento del tasso di incidentalità dell'1.2659%.

Considerando gli altri quattro modelli binomiali negativi che sono stati sviluppati nel report (20), si è stimato un numero maggiore di sinistri non gravi e gravi all'aumentare del traffico.

Un altro articolo (25), pubblicato da Ozgur Ozturk et al, avvalorata le considerazioni effettuate dalle precedenti analisi in quanto si è assistito ad un incremento sia degli incidenti di tipo *pdo* che di quelli più gravi all'aumentare dei volumi di traffico. Il numero delle collisioni *pdo* e in quelle dove

sono coinvolti dei feriti è più basso durante le ore notturne a causa delle minori interazioni tra le vetture nelle zone adiacenti ai cantieri.

Dai risultati ottenuti dal modello utilizzato nel paper (25), all'aumentare dell'1% del volume di traffico sulla scala dei logaritmi, si è osservato un incremento pari al 4.93% degli incidenti *pdo* e dell'1.84% dei sinistri con feriti.

A seconda dei casi, la chiusura di una o più corsie al transito dei veicoli comporta una riduzione della capacità.

È importante scegliere il periodo ottimale per eseguire i lavori in modo da minimizzare il problema della congestione.

La Normativa impone le seguenti prescrizioni affinché si possa scegliere il miglior periodo di cantierizzazione (21):

- i lavori devono essere effettuati in periodi dell'anno nei quali si limiti il più possibile la turbativa al traffico. Per ovviare a questa problematica, molte lavorazioni vengono eseguite durante le ore notturne;
- è necessario cessare i lavori e, nei casi in cui è possibile, bisogna ripristinare le condizioni di piena circolazione del traffico durante il manifestarsi di fenomeni meteorologici particolarmente avversi.

Generalmente, per arrecare il meno possibile disagi agli automobilisti e per garantire elevati standard di sicurezza, non vengono condotti i lavori durante le festività o nel periodo estivo.

4.4 RELAZIONE TRA INCIDENTI E LA VELOCITA'

Un altro fattore da considerare, nella valutazione dei rischi interferenziali che sussistono nei cantieri autostradali, è la velocità.

Nell'articolo (21) sono stati analizzati, in maniera dettagliata, i limiti di velocità e le contromisure da mettere in atto a ridosso delle aree di cantiere. Nella zona a ridosso dell'area di lavoro, le condizioni di deflusso più sicure si ottengono quando gli utenti transitano più o meno alla stessa velocità (21). A conferma di ciò, diversi studi hanno confermato che la sicurezza nelle aree di cantiere è maggiormente garantita solo se la varianza delle velocità è bassa.

Non è raccomandabile imporre grandi riduzioni del limite di velocità in quanto, molti automobilisti, potrebbero non rispettare tale obbligo con il conseguente incremento della differenza di velocità assunta dai diversi conducenti.

Diverse linee guida consigliano una diminuzione della velocità, compresa tra i 10 km/h e i 20 km/h, rispetto al limite consentito in assenza dei lavori poiché si osserva un minor tasso di incidentalità.

Quando agli utenti non viene imposta nessuna riduzione delle velocità, come mostrato nella Figura 4.2, si riscontra un aumento del numero di sinistri gravi rispetto ai casi in cui vengono rispettate le prescrizioni delle linee guida.

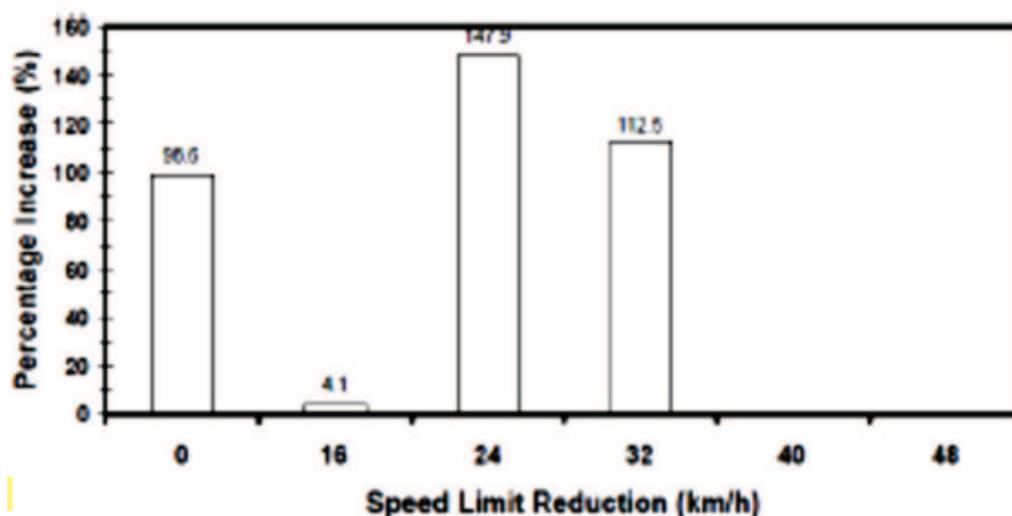


Figura 4.2: incremento percentuale degli incidenti con morti e/o feriti al avviare della riduzione del limite di velocità (21)

La presenza degli operai e dei mezzi utilizzati in cantiere, nel campo visivo dei conducenti, comporta una percezione di pericolo (21). In questi casi, diversi automobilisti iniziano a decelerare, anche se non è necessario, e di conseguenza la varianza delle velocità subisce un notevole incremento.

Nella valutazione del limite di velocità da imporre nell'area interessata dalle attività cantieristiche, è importante considerare i seguenti fattori:

- *Riduzione volontaria*: è inferiore a 15 km/h, eccetto nei casi in cui è presente la polizia o l'autovelox, ed è causata dall'utilizzo di dispositivi di gestione della velocità o dall'invito, da parte delle autorità, a rallentare;
- *Riduzione involontaria*: gli utenti iniziano a decelerare quando percepiscono una situazione di pericolo.

In conclusione, i ricercatori hanno dimostrato l'importanza di scegliere gli opportuni limiti di velocità dal momento che i conducenti sono propensi a adottare una velocità che è in linea con le loro aspettative.

Ad esempio, come illustrato nella Figura consecutiva (Figura 4.3), informare gli utenti della presenza di un cantiere li incentiva ad assumere una guida più prudente:



Figura 4.3: pannello a messaggio variabile

4.5 RELAZIONE TRA INCIDENTI E CONDIZIONI METEO

Diversi studi, sviluppati nel corso degli ultimi decenni, hanno analizzato in maniera più approfondita i rischi interferenziali, caratterizzanti un tratto autostradale, al variare della presenza e della tipologia del cantiere. Tra i numerosi documenti è emerso che esiste la relazione tra l'incidentalità, in presenza di cantieri autostradali, e le condizioni meteorologiche.

Nell'articolo (26), riguardante l'analisi realizzata da O.M. Salem et al, si evince che circa la metà delle collisioni con morti e feriti, sulle autostrade interstatali dell'Ohio, si è verificata in condizioni di tempo sereno, mentre il 25% degli incidenti è avvenuto in giornate nuvolose e il restante 13% durante la pioggia. Questi risultati escludono il legame tra le condizioni meteo avverse e l'aumento dei sinistri nelle zone di lavoro.

A conferma di quanto appena riportato vi è un ulteriore articolo (19), pubblicato dai ricercatori Jerry G. Pigman e Kenneth R. Agent, in cui si osserva, a seguito di studi statistici, una percentuale bassa degli incidenti nelle aree di cantiere in condizioni di strada bagnata, neve o ghiaccio a causa della minore attività in tali condizioni climatiche.

Nonostante la metodologia adottata per la stima percentuale degli incidenti avesse portato a risultati attendibili è stata dimostrata, nello studio (27) realizzato dai professori J. W. Hall e V. M. Lorenz, una sovra rappresentazione dei sinistri nelle zone di cantiere in condizioni di bel tempo e una sottostima di tale numero in condizioni climatiche avverse. La causa è da attribuire ad una diminuzione del numero di giorni in cui l'autostrada era innevata o ghiacciata rispetto al periodo precedente ai lavori in quanto le lavorazioni sono state eseguite solo durante il bel tempo. La Tabella 4.1 riporta le condizioni meteorologiche prima e durante i lavori di cantiere.

	Before	During	Total
Clear	402	544	946
Raining	31	36	67
Snowing	50	27	77
Other	16	24	40
Total	499	631	1,130

Tabella 4.1: condizioni meteorologiche prima e durante le attività di cantiere (27)

Il confronto tra le collisioni è stato effettuato tra periodi identici dell'anno e quindi i risultati ottenuti sono inaspettati.

Nel paper (24), pubblicato dai ricercatori Srinivasan et al, sono state create delle variabili per tenere in considerazione l'influenza che le condizioni meteorologiche possono avere sui tamponamenti. I fattori utilizzati, come riportato nella Tabella 4.2, sono: SSPR (che rappresenta la primavera), SSUM (estate), SFAL (autunno). L'inverno è stato assunto come periodo di riferimento.

CAPITOLO 4. FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI AUTOSTRADALI

	Variable	Description
Dependent variable	INCIDENT	Number of incidents by county by season
Independent variables for Region 1-7 and 9	PEAKC	Peak Construction month (August-October)
	OFFPEAKC	Off Peak Construction month (April-July)
	SSPR	Spring Season month (March-May)
	SSUM	Summer Season month (June-August)
	SFAL	Fall Season month (September-November)
	POPUDENS	number of people per square miles
	AREA	square miles
Independent variables for Regions 8, 10 and 11	SSPR	Spring Season month (March-May)
	SSUM	Summer Season month (June-August)
	SFAL	Fall Season month (September-November)
	POPUDENS	number of people per square miles
	AREA	square miles

Tabella 4.2: descrizione delle variabili usate nel modello statistico dello studio (24)

Inoltre, nello studio (24), è stato utilizzato il modello “Zero-inflated frequency” e si è dimostrato che il numero di tamponamenti nella stagione primaverile, autunnale ed estiva è maggiore rispetto a quella invernale.

I ricercatori Rami Harb et al (28), hanno sviluppato tre modelli che identificano le caratteristiche e i fattori di rischio degli incidenti nelle aree di cantiere autostradali.

La geometria della strada, le condizioni meteorologiche, l’età, il genere, le condizioni di illuminazione, il codice di residenza e la guida sotto l’effetto di alcool e/o droghe sono fattori di rischio significativi per i sinistri nell’area di cantiere.

Il Modello 1 si focalizza sulle collisioni che vedono coinvolto un solo veicolo nelle zone di lavoro, mentre i Modelli 2 e 3 si occupano dei sinistri tra due veicoli. Gli incidenti autonomi si verificano quando un veicolo si scontra con un oggetto fisso, o con un lavoratore, nella zona di cantiere oppure quando un mezzo sbanda all’interno dell’area interdetta al transito.

Nel Modello 2 è stato effettuato un confronto tra conducenti colpevoli e non colpevoli utilizzando la regressione logistica multipla mentre per i Modelli 1 e 3 è stata usata la regressione logistica multipla condizionale. Il Modello 3 confronta solo gli incidenti effettuati dai conducenti ritenuti colpevoli che sono avvenuti sia nell’area di cantiere che all’esterno di essa.

La Tabella 4.3 rappresenta una sintesi dei risultati ottenuti per i tre modelli:

Type	Variables	Categories	Model 1 (Single vehicle)		Model 2 (2 vehicles)		Model 3 (2 vehicles)	
			Work zone percent of each level (%)	Nonwork zone percent of each level (%)	W.Z. at fault percent of each level (%)	W.Z. not at fault percent of each level (%)	W.Z. at fault percent of each level (%)	N.W.Z. at fault percent of each level (%)
	Weather	Clear	53.49	55.27	62.53	62.53	62.53	65.30
		Cloudy/rainy/foggy	46.51	44.73	37.47	37.47	37.47	34.70

Tabella 4.3: percentuale degli incidenti nei tre modelli in condizioni meteorologiche buone e avverse (28)

Per ciascuno dei tre modelli, sono stati calcolati gli indici relativi di coinvolgimento agli incidenti (RAIR) per esaminare i diversi fattori legati all'incidentalità nella zona di lavoro.

Gli indici $RAIR_i$ si determinano tramite la seguente formula (Equazione 4.3):

$$RAIR_i = \frac{\frac{D1_i}{\sum D1_i}}{\frac{D2_i}{\sum D2_i}}$$

Equazione 4.3: calcolo degli indici $RAIR_i$

Dove:

$D1_i$ = rappresenta il numero di conducenti colpevoli, di tipo i , coinvolti in incidenti avvenuti nei pressi delle zone di lavoro;

$D2_i$ = è il numero di guidatori colpevoli, di tipo i , interessati in collisioni avvenuti in un tratto autostradale in cui non era presente un cantiere.

Inoltre, per verificare l'interazione tra conducenti/veicoli/ambiente di tipo i e guidatori/mezzi di trasporto/ambiente di tipo j , l'indice $RAIR_{i,j}$ si definisce nel seguente modo:

$$RAIR_{i,j} = \frac{\frac{N1_{i,j}}{\sum \sum N1_{i,j}}}{\frac{N2_{i,j}}{\sum \sum N2_{i,j}}}$$

Equazione 4.4: calcolo degli indici $RAIR_{i,j}$

L'Equazione sopraindicata può essere utilizzata per confrontare i guidatori colpevoli e quelli non responsabili dei sinistri in un'area di cantiere autostradale.

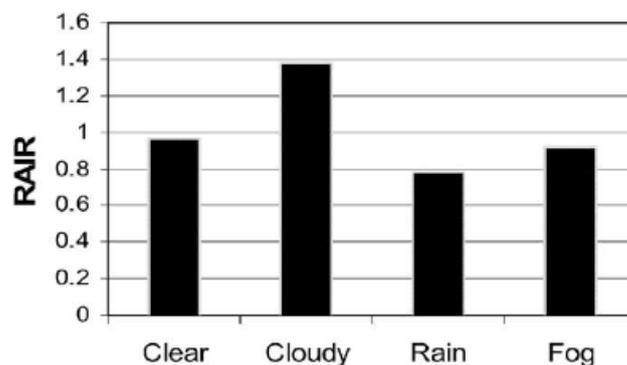


Figura 4.4: indici $RAIR$ – incidenti autonomi (28)

La Figura 4.4 mette in evidenza i risultati ottenuti dal Modello 1 e si evince che l'incidentalità nelle aree di cantiere, durante il tempo piovoso, risulta essere più bassa rispetto alle altre condizioni climatiche grazie alla guida probabilmente più prudente dei conducenti.

La Figura 4.5 riporta gli indici RAIR nel caso di incidenti non autonomi:

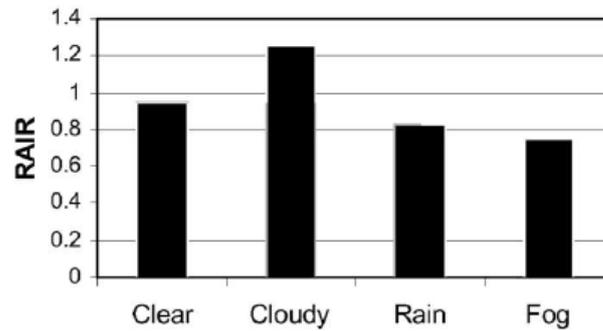


Figura 4.5: RAIR – incidenti tra due veicoli (28)

L'indice RAIR nel caso di tempo nuvoloso risulta essere superiore rispetto a tutte le altre condizioni climatiche.

Prendendo in considerazione i risultati ottenuti da diversi studi si deduce che il numero di incidenti nelle aree di cantiere autostradali, durante le giornate di pioggia, è più basso rispetto alle giornate soleggiate/nuvolose perché i conducenti adottano una guida più prudente e dal momento che molti lavori in autostrada vengono sospesi in caso di brutto tempo.

4.6 RELAZIONE TRA INCIDENTI E CONDIZIONI DI ILLUMINAZIONE

Un altro fattore su cui porre l'attenzione è la correlazione tra il numero di sinistri osservati, nelle zone adiacenti ai cantieri autostradali, e le diverse condizioni di illuminazione presenti al momento dell'incidente.

Da uno studio effettuato nelle autostrade interstatali in Ohio (26), si evince che circa il 61% delle collisioni con morti e feriti si è verificato durante le ore diurne. Soltanto il 15% dei tamponamenti gravi è avvenuto in condizioni di oscurità, mentre il numero dei sinistri è quasi trascurabile nel corso dell'alba e del tramonto.

Il grafico seguente (Figura 4.6) mette in evidenza la distribuzione, in percentuale, degli incidenti gravi al variare delle condizioni di illuminazione:

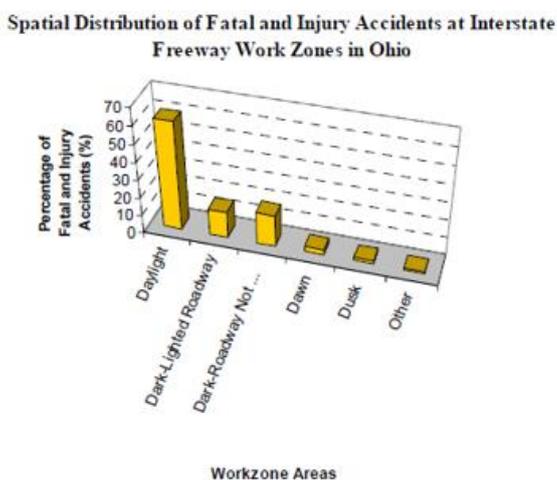


Figura 4.6: distribuzione degli incidenti in base alle condizioni di illuminazione (26)

Un'altra analisi è stata condotta considerando i dati riguardanti i tamponamenti verificatesi nelle autostrade dello stato del Kentucky (19). Esiste una corrispondenza con quanto è stato dedotto nel report precedente poiché la maggior parte dei sinistri è stato osservato durante il giorno.

In questo caso, i ricercatori hanno evidenziato un incremento della gravità dei sinistri qualora le aree di cantiere non fossero ben illuminate.

I tronchi autostradali interessati dai lavori causano un aumento dei rischi di sicurezza per i conducenti che percorrono le zone adiacenti ai cantieri. A maggior ragione, questo incremento risulta evidente nei casi di illuminazione scarsa o assente, in quanto gli utenti potrebbero non accorgersi dei mezzi operativi o delle barriere di delimitazione del cantiere.

Difatti, nell'indagine (28), eseguita da Rami Harb et al, è stato effettuato un confronto tra la frequenza di accadimento dei sinistri, osservati in tronchi autostradali non interessati dalle attività cantieristiche, rispetto a quelli in cui sono presenti delle zone di lavoro aventi una scarsa illuminazione. Si desume una crescita del 23.5% degli incidenti autonomi e del 35.2% di quelli in cui sono coinvolti almeno due veicoli rispetto a quando il traffico non subisce nessun tipo di deviazione.

È possibile garantire i migliori standard di sicurezza solo se, nelle vicinanze e a ridosso delle aree di lavoro, è presente una buona illuminazione.

Nel progetto di ricerca (29), pubblicato da Gerald L. Ullman et al, è stata eseguita un'analisi approfondita sui tassi di incidentalità, rilevati nei cantieri diurni e notturni, e sulle disposizioni da adottare per promuovere la sicurezza nelle zone di lavoro.

Solitamente, i lavori che richiedono una chiusura limitata nel tempo delle corsie, vengono maggiormente eseguiti durante le ore notturne poiché i flussi di traffico sono notevolmente inferiori rispetto al resto della giornata. Tutto questo comporta una diminuzione dei sinistri notturni a paragone di quelli diurni.

Di contro, la composizione del traffico, nel corso della notte, è caratterizzata da un'alta percentuale di mezzi pesanti e generalmente gli utenti transitano a velocità abbastanza elevate a causa dell'assenza di problemi di congestione. Il livello di sicurezza dei lavoratori diminuisce poiché gli automobilisti transitano, nella zona adiacente al cantiere, a velocità sostenute e di conseguenza aumenta la probabilità di urtare i mezzi operativi e/o gli operai.

I ricercatori, sulla base degli incidenti verificatisi nello Stato di New York, hanno osservato una maggiore incidenza delle collisioni in cui sono coinvolti gli operai, le attrezzature e i materiali da costruzione rispetto alle ore diurne.

In genere, durante le ore notturne, le collisioni sono gravi dal momento che la visibilità non è ottimale e poi il numero di conducenti alterati da alcool o droghe è ben maggiore rispetto al resto della giornata.

I tassi di incidentalità, espressi in milione di chilometri-veicolo, sono più elevati nel corso delle attività lavorative notturne. Gli studiosi hanno osservato un aumento dei tassi compreso tra il 67% e il 156%, con un incremento medio dell'87% (29).

Si è arrivati alla seguente conclusione: anche se i rischi di notte aumentano a causa del più alto numero di incidenti gravi e dei tassi di incidentalità più elevati, i volumi di traffico molto più bassi compensano questo rischio incrementale.

Un'altra differenza riscontrata, nell'eseguire i lavori di giorno o di notte, riguarda la tipologia di sinistri verificatisi nella zona di lavoro. Ad esempio, il 14.2% delle collisioni notturne è avvenuto durante l'allestimento e lo smontaggio del cantiere, mentre tale percentuale decresce al 3.1% nel caso di incidenti diurni. La causa per cui si osservano queste differenze potrebbe risiedere in una più alta frequenza delle chiusure temporanee delle corsie durante la notte.

La probabilità di accadimento dei tamponamenti a catena dipende dai flussi di traffico che transitano in autostrada. A conferma di ciò, gli incidenti a catena avvengono maggiormente la mattina e il pomeriggio a causa della congestione del traffico.

Quando l'autostrada risulta congestionata, la maggior parte dei sinistri si verifica nella zona a monte del cantiere poiché i conducenti sono obbligati a ridurre notevolmente la velocità. Al contrario, durante le ore notturne, l'area più soggetta alle collisioni è quella a ridosso della zona dei lavori. Gli automobilisti effettuano le manovre e riducono la velocità di marcia all'ultimo e per questo motivo si assiste ad un incremento degli incidenti in cui sono coinvolti gli operatori.

CAPITOLO 4. FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI AUTOSTRADALI

In condizioni di illuminazione scarse, il 50.8% delle collisioni con coinvolgimento dei lavoratori ha provocato morti o feriti. Tale proporzione diminuisce al 29.6% durante i lavori effettuati nella restante parte della giornata. Tuttavia, non prendendo in considerazione i sinistri caratterizzati dal ferimento degli operai, non si osservano differenze significative, inerenti alla severità, tra gli incidenti diurni e notturni.

L'esecuzione dei lavori di notte comporta un aumento del numero di tamponamenti per intrusione all'interno dell'area di cantiere. In queste condizioni, si assiste ad una maggiore frequenza degli scontri sugli attenuatori montati sui camion (TMA) e sulle attrezzature di lavoro.

Dalla Tabella 4.4, nel corso delle operazioni notturne, è possibile constatare una crescita percentuale dei morti e dei feriti a seguito dell'intrusione dei veicoli all'interno dell'area di cantiere:

Injury Severity	All Work Zone Traffic Control Types		Lane Closure Traffic Control Work Zones Only	
	Daytime Work Operations, Daytime Crashes (n = 133)	Nighttime Work Operations, Nighttime Crashes (n = 39)	Daytime Work Operations, Daytime Crashes (n = 86)	Nighttime Work Operations, Nighttime Crashes (n = 26)
Fatal	2.3%	7.7%	2.2%	0.0%
Injuries	36.8%	53.8%	36.3%	56.4%
PDO	60.9%	38.5% ^a	61.5%	43.6% ^b
Chi-Square Test Results	Daytime and nighttime distributions are significantly different ^a		Daytime and nighttime distributions are not significantly different ^b	

Tabella 4.4: gravità degli incidenti da intrusione nella zona di lavoro (29)

La Tabella 4.5 riporta le percentuali delle tipologie di incidente osservate, rispettivamente, nelle zone di lavoro in generale e in quelle caratterizzate dalla chiusura al traffico della corsia e mette in risalto tutte le considerazioni effettuate riguardo i cantieri diurni e notturni:

Key Crash Types	All Work Zone Traffic Control Types		Lane Closure Traffic Control Work Zones Only	
	Daytime Work Operations, Daytime Crashes (n = 1762)	Nighttime Work Operations, Nighttime Crashes (n = 315)	Daytime Work Operations, Daytime Crashes (n = 886)	Nighttime Work Operations, Nighttime Crashes (n = 182)
Rear End	49.0%	35.6%	59.1%	45.6%
Other Multi-Vehicle	16.8%	14.3%	14.8%	13.2%
Single Vehicle Run-Off-Road	9.4%	9.8%	5.3%	7.1%
Intrusion Impacts:	0.7%	3.8%	0.7%	3.8%
with Workers	3.7%	4.8%	4.7%	6.0%
with Equipment	3.1%	3.8%	4.3%	4.4%
with Debris/Other				
Non-intrusion Impacts:	0.4%	0.3%	0.2%	0.5%
with Workers	3.6%	6.7%	2.5%	4.4%
with Equipment	6.8%	8.6%	4.9%	7.7%
with Debris/Other				
Impact with TMA	2.7%	9.8%	2.5%	4.9%
Other Miscellaneous Types	3.8%	2.5%	1.0%	2.4%
Chi-Square Test Results	Daytime and nighttime distributions are significantly different ^a		Daytime and nighttime distributions are significantly different ^b	

Tabella 4.5: tipologie di incidenti stradali (29)

4.7 RELAZIONE TRA INCIDENTI E CHIUSURA DELLA CORSIA

Nei cantieri autostradali, ai fini della valutazione della sicurezza, è necessario analizzare le implicazioni derivanti dalla chiusura di una determinata corsia.

Nelle autostrade costituite da due o più corsie di marcia, a seconda della localizzazione dei lavori, si riscontrano delle differenze riguardo i tassi di incidentalità.

In Europa, come già ampiamente discusso nel Capitolo 3, è stato condotto uno studio per permettere di utilizzare i modelli di stima dell'Highway Safety Manual (HSM) nelle infrastrutture del Vecchio Continente.

I ricercatori del progetto PRACT, come visto nel paragrafo 3.3, hanno determinato i fattori CMF per ciascuna configurazione della zona di lavoro. Il fattore CMF è uguale al rapporto tra la frequenza delle collisioni attesa dopo la chiusura di una o più corsie al traffico e la frequenza degli incidenti stimata in condizioni di marcia normali. La Tabella 4.6, riporta i valori dei CMF a seconda di quale corsia è chiusa al transito degli utenti:

	CMF fisso
2 CORSIE	
Chiusura della corsia di emergenza	1.27
Chiusura della corsia di marcia	1.62
Chiusura della corsia di sorpasso	1.08
3 CORSIE	
Chiusura della corsia di emergenza	1.00
Chiusura della corsia di marcia	1.03
Chiusura della corsia di marcia e centrale	1.91
Chiusura della corsia di sorpasso	1.49
Chiusura della corsia di sorpasso e della corsia centrale	1.90

Tabella 4.6: CMF nei diversi layout di cantiere (30)

I CMF sono dei coefficienti che quantificano la riduzione o l'incremento del tasso dei sinistri dopo aver implementato determinate misure di sicurezza.

In questi casi, quando agli automobilisti non è consentito di transitare in una o più corsie, quest'ultimi sono maggiormente esposti a diversi rischi interferenziali. A conferma di ciò, gli

studiosi hanno ricavato dei coefficienti maggiori dell'unità in quanto si osservano un maggior numero di collisioni rispetto alle condizioni normali di marcia.

In un tronco autostradale composto da 2 corsie, a causa dei lavori, è possibile chiudere al traffico la corsia di emergenza, di marcia o quella di sorpasso.

Dai risultati contenuti nella Tabella precedente, è possibile dedurre che la preclusione al transito della corsia di marcia è la più pericolosa rispetto ai casi in cui le attività cantieristiche vengono eseguite in quella di emergenza o di sorpasso.

Si osserva una notevole differenza riguardo i valori determinati per i CMF. Quando le attività cantieristiche vengono eseguite nella corsia di destra si osserva un incremento degli incidenti pari al 62% mentre in quella di emergenza e di sorpasso, rispettivamente, il numero dei sinistri aumenta del 27% e dell'8%.

In genere, i mezzi pesanti come gli autobus e gli autocarri viaggiano nella corsia lenta poiché non riescono a raggiungere velocità elevate.

Nell'area di preavviso e in quella di transizione, i tir e tutti gli altri veicoli, che procedono a velocità più contenute, sono obbligati ad immettersi nella corsia veloce. Tutto questo comporta un incremento della probabilità di accadimento degli incidenti di tipo frontale e laterale dal momento che diversi conducenti, nella corsia di sorpasso, potrebbero non rispettare i limiti di velocità.

Un altro fattore di rischio da non sottovalutare riguarda l'eventualità che un'automobile possa guastarsi nell'unica corsia in cui è possibile transitare. Ovviamente, questa problematica è meno critica nei casi in cui è consentito viaggiare nella corsia di destra in quanto l'auto in panne può essere momentaneamente parcheggiata in quella adibita alle emergenze.

La Figura 4.7 mette in evidenza un esempio di chiusura al traffico, della corsia di marcia, in un'autostrada ligure:



Figura 4.7: chiusura al traffico della corsia di marcia (31)

Nelle autostrade a 3 corsie, come riportato nella Tabella 4.6, sono possibili cinque configurazioni di zone di lavoro:

- Chiusura della corsia di emergenza;
- Chiusura della corsia di marcia;
- Chiusura della corsia di destra e centrale;
- Chiusura della corsia di sorpasso;
- Chiusura della corsia centrale e di sinistra.

Ad esempio, quando i lavori vengono realizzati soltanto nella corsia di emergenza, non si assiste ad un incremento delle collisioni dal momento che è stato ottenuto un valore di CMF pari all'unità.

Tutte le volte in cui non è consentito percorrere la corsia di marcia non si registra un aumento elevato dei rischi interferenziali a cui sono soggetti gli utenti. Difatti, è stato ottenuto un valore di CMF pari a 1,03.

La chiusura della corsia di marcia e di quella centrale comporta gravi problemi di congestione con il conseguente aumento della frequenza dei sinistri. È stata appurata una correlazione, tra l'incremento dei rischi di sicurezza e la formazione di code, nella zona a ridosso del cantiere.

In aggiunta, a causa dell'apertura al transito solo della corsia di sinistra, si verifica una diminuzione della sicurezza dovuta alle procedure di immissione nella stessa. È probabile che diversi automobilisti non rispettino i limiti di velocità ammessi in quella zona e di conseguenza, per i pericoli menzionati in precedenza, sia gli utenti che i lavoratori sono soggetti a molti rischi.

Quando i lavori vengono effettuati nella quasi totalità della carreggiata, lasciando una sola corsia aperta al traffico, o quella di destra o di sinistra, gli operai potrebbero facilmente essere vittime di collisioni causate dalle intrusioni, nell'area di cantiere, di utenti che perdono il controllo del volante a causa dell'alta velocità.

Il valore del fattore CMF è uguale a 1,91 nel caso di chiusura della corsia di marcia e di quella centrale, mentre è pari a 1,90 quando è aperta al transito solo quella di destra.

Si può giungere alla conclusione che, laddove non fosse possibile, tenere aperta una sola corsia è una soluzione da evitare il più possibile.

Si riscontra un aumento quasi del 50% per i cantieri localizzati nella corsia veloce.

4.8 AREA DEL CANTIERE IN CUI AVVIENE L'INCIDENTE

Le zone di lavoro tendono a causare condizioni di pericolo per i conducenti dei veicoli e per i lavoratori edili, poiché queste zone di lavoro generano conflitti tra le attività di costruzione e il traffico, e quindi aggravano le condizioni di traffico esistenti.

Diverse ricerche hanno messo in evidenza una distribuzione non omogenea degli incidenti all'interno di un'area di cantiere autostradale.

Esistono delle zone molto più pericolose delle altre, per questo motivo è necessario studiare tale fenomeno, in modo da incrementare gli standard di sicurezza nelle aree a maggior rischio di incidentalità.

Un cantiere autostradale, secondo il Manuale sui dispositivi di controllo del traffico (32), è costituito dalle seguenti 5 aree:

- Advance warning area (Area di preavviso);
- Transition area (Area di transizione);
- Activity area (Area di lavoro);
- Buffer space (Zona cuscinetto);
- Termination area (Area di chiusura).

L'area di preavviso è situata a monte della zona interessata dai lavori ed ha il compito di avvertire gli automobilisti sui pericoli che possono incorrere. È in questa zona, come ampiamente spiegato dai ricercatori Steven D. Schrock et al (33), che gli utenti vengono informati sulla natura dei lavori, sulla corsia chiusa al traffico e sui potenziali ritardi che possono aspettarsi una volta raggiunta l'area a ridosso del cantiere.

Nell'area di transizione si crea una riduzione o uno spostamento di corsia in modo da convogliare i conducenti nelle corsie aperte al traffico.

Successivamente, come riportato nella Figura 4.8, riportata a seguire, è presente un'area non soggetta ai lavori e dove non vengono allocati i mezzi utilizzati in cantiere. È importante prevedere quest'area in quanto, riducendo in maniera significativa la probabilità che possano esserci delle interazioni tra le vetture e gli automezzi, viene assicurata una maggiore protezione agli operai e al traffico.

L'area di lavoro è interessata dalle attività cantieristiche e solo in questa zona sono presenti i lavoratori e le attrezzature.

A valle del cantiere si ha la cosiddetta "area di fine lavori", che permette agli utenti di immettersi nella corsia precedentemente chiusa al transito.

La Figura 4.8 illustra e descrive le aree presenti in un cantiere:

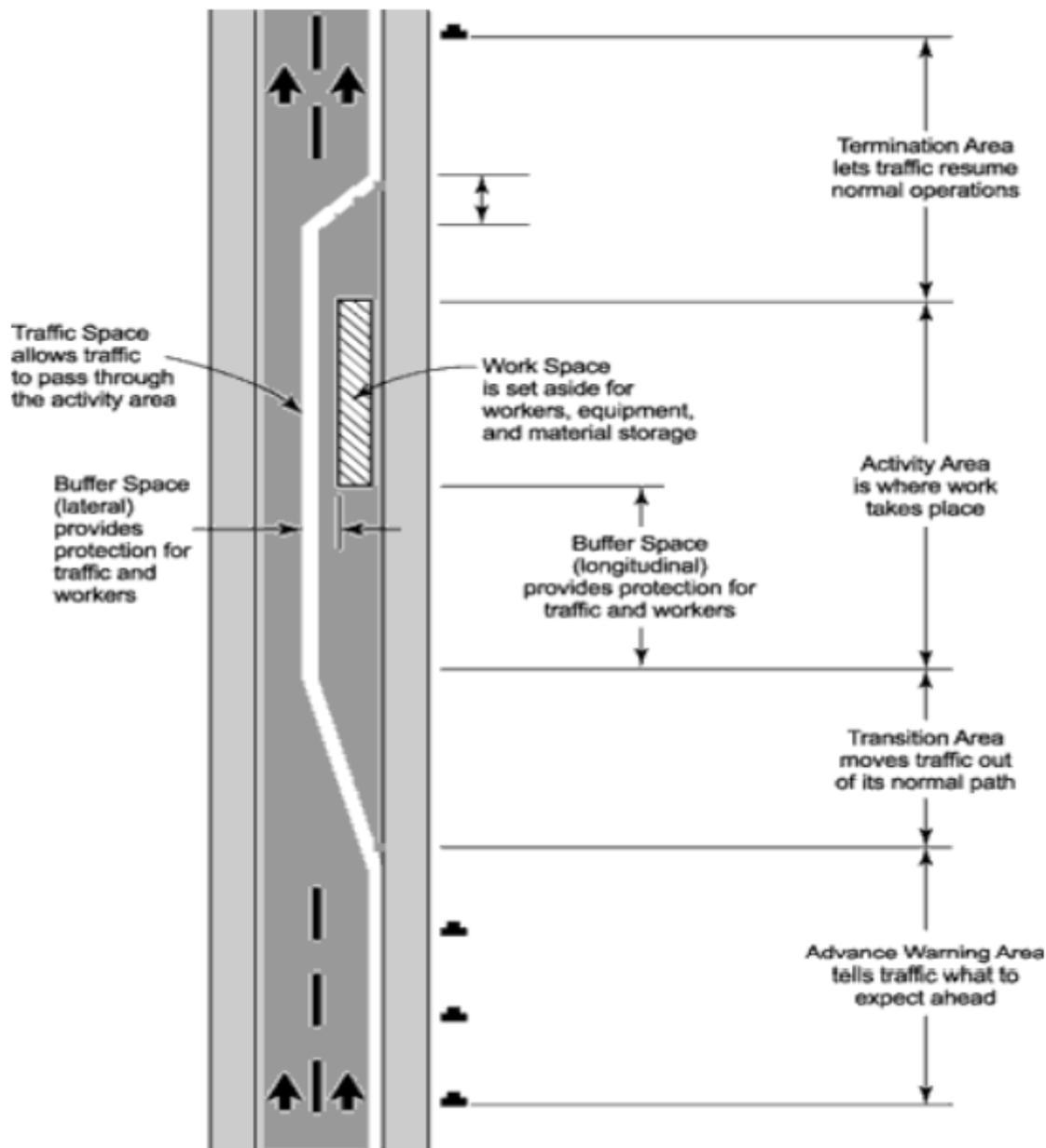


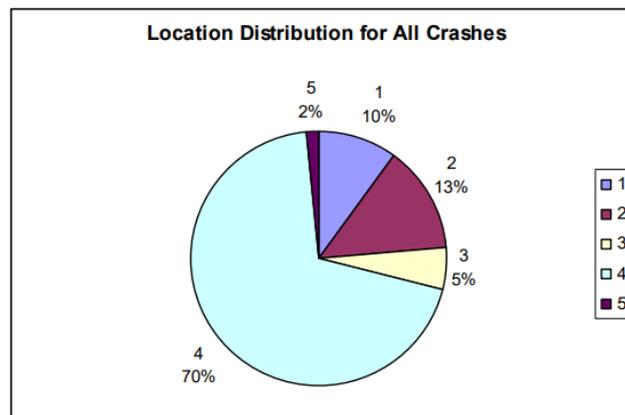
Figura 4.8: suddivisione di un cantiere autostradale in cinque aree (33)

Nello studio condotto dai ricercatori Nicholas J. Garber e Ming Zhao (34), sono stati esaminati gli incidenti avvenuti, tra il 1996 e il 1999, nei pressi delle zone di lavoro autostradali della Virginia.

Attraverso i registri della polizia, è stato possibile individuare l'esatta posizione dei sinistri all'interno di una delle cinque aree di cui è costituita la zona di lavoro.

CAPITOLO 4. FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI AUTOSTRADALI

La Figura 4.9 mette in evidenza la distribuzione, in percentuale, delle collisioni nelle cinque aree menzionate precedentemente:



Area 1 (Advance Warning Area) Area 2 (Transition Area) Area 3 (Longitudinal Buffer Area)
Area 4 (Activity Area) Area 5 (Termination Area)

Figura 4.9: distribuzione degli incidenti nelle diverse aree del cantiere (34)

Si evince che le collisioni non sono uniformemente distribuite nelle diverse zone poiché la maggior parte dei sinistri, circa il 70%, è avvenuto a ridosso dell'area di lavoro (Area 4).

A seguire, in ordine decrescente di pericolosità, sono riportate le zone a maggiore incidentalità:

- Area di transizione (Area 2): 13%;
- Area di preavviso (Area 1): 10%;
- Zona cuscinetto (Area 3): 5%;
- Area di chiusura (Area 5): 2%.

Nelle zone di lavoro delle autostrade interstatali della Virginia, come riportato nella Figura 4.10, si osservano diverse tipologie di collisioni:

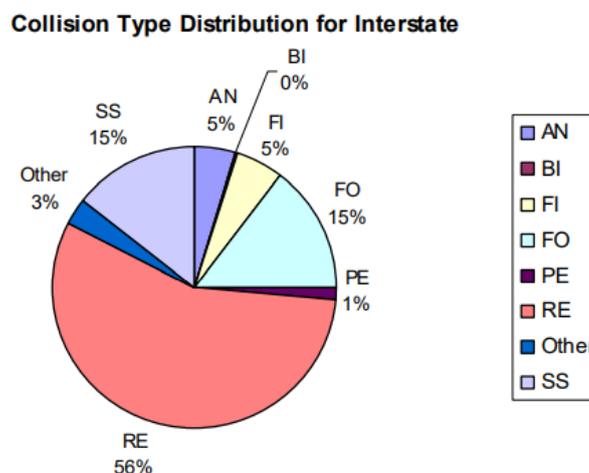


Figura 4.10: tipologie di collisioni avvenute nelle aree di cantiere (34)

In generale, il tipo di incidente predominante è il tamponamento (Rear End – RE), tra due o più veicoli, a causa della notevole differenza di velocità dei veicoli che transitano in quel determinato tronco autostradale.

Altri tipi di incidente abbastanza comuni sono gli urti tra i veicoli che si scontrano tra di loro lateralmente (SS) e i sinistri dovuti alla presenza non intenzionale sulla carreggiata di oggetti, materiale di lavoro (FO).

Gli studiosi hanno rilevato delle differenze tra le tipologie di incidente, osservati in ciascuno delle cinque aree, in quanto cambiano i fattori di rischio che potrebbero portare all'evento dannoso.

Analizzando l'area di preavviso (Area 1), si riscontra una netta prevalenza dei tamponamenti rispetto agli altri tipi di urti. Questa categoria di incidente è molto comune, all'inizio della zona soggetta ai lavori, dal momento che si riscontra una notevole varianza della velocità dei mezzi.

Molti utenti rispettano il Codice della strada, riducendo la velocità, in corrispondenza dei segnali di avvicinamento mentre altri non lo fanno. Quest'ultimi, molte volte, si rendono conto troppo tardi del pericolo e di conseguenza non hanno il tempo né di decelerare e né di evitare la vettura che lo precede.

La Figura 4.11 riporta la distribuzione percentuale delle collisioni nell'area di preavviso:

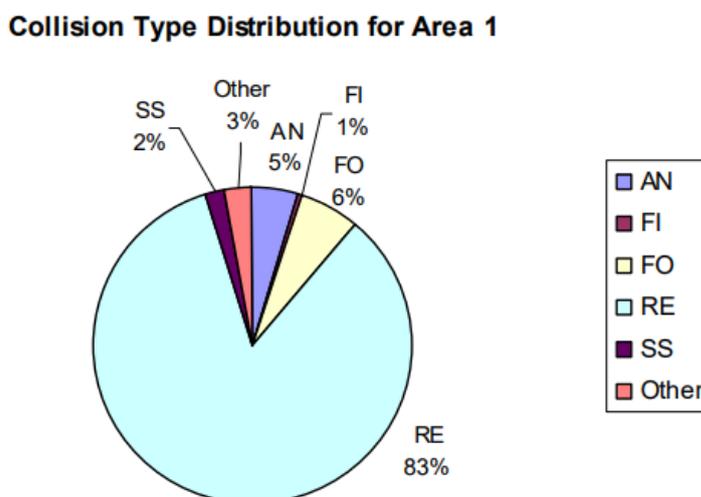


Figura 4.11: tipi di incidente verificatesi nell'area di preavviso (34)

Poco più della metà degli incidenti verificatesi all'interno dell'area di transizione sono stati dei tamponamenti (RE) ma, rispetto all'Area 1, è aumentata la proporzione dei sinistri di tipo (SS).

In questa zona, è probabile che le vetture si scontrino lateralmente, in quanto gli automobilisti sono obbligati ad effettuare le manovre di immissione nella corsia aperta al traffico.

Considerando le altre categorie di collisioni, osservate nelle aree 1 e 2, non si registrano differenze significative.

La Figura 4.12 mette in evidenza i tipi di incidente accaduti all'interno dell'area di transizione:

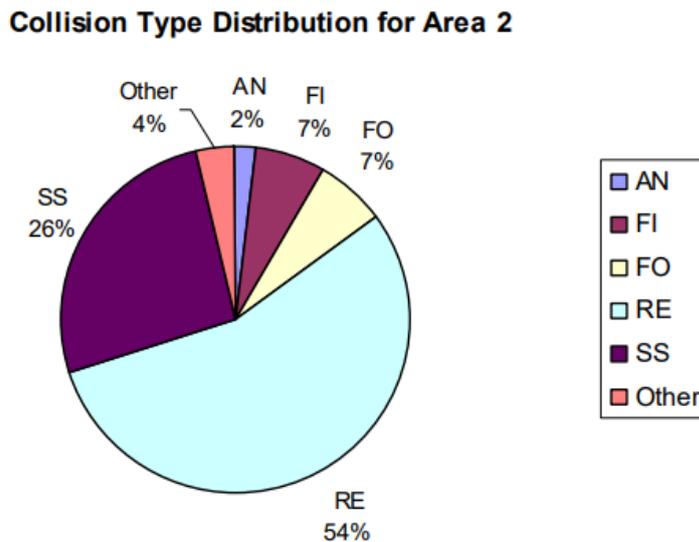


Figura 4.12: tipi di collisione osservati nell'area di transizione (34)

Nelle zone a ridosso delle attività cantieristiche (Area 3 e 4) aumenta di molto il numero degli incidenti causati dalla presenza di oggetti fissi (FI), come i segnali e le delimitazioni del cantiere, e di oggetti non previsti sulla corsia, come attrezzi da lavoro o materiali di proiezione.

Un utente, quando transita nella zona adiacente ai lavori, ha maggiori probabilità di essere coinvolto in un incidente di tipo angolare (AN) con gli automezzi.

Le due Figure successive (Figura 4.13 e Figura 4.14) riportano, rispettivamente, le distribuzioni percentuali dei sinistri nell'area 3 e 4:

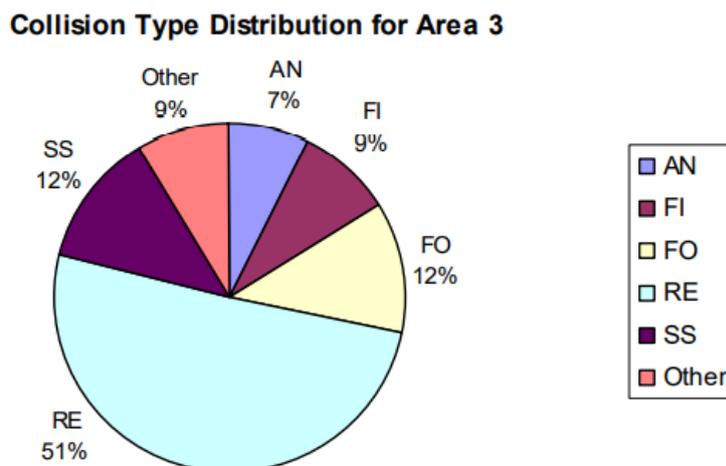


Figura 4.13: distribuzioni percentuali degli incidenti nell'area denominata "cuscinetto" (34)

Collision Type Distribution for Area 4

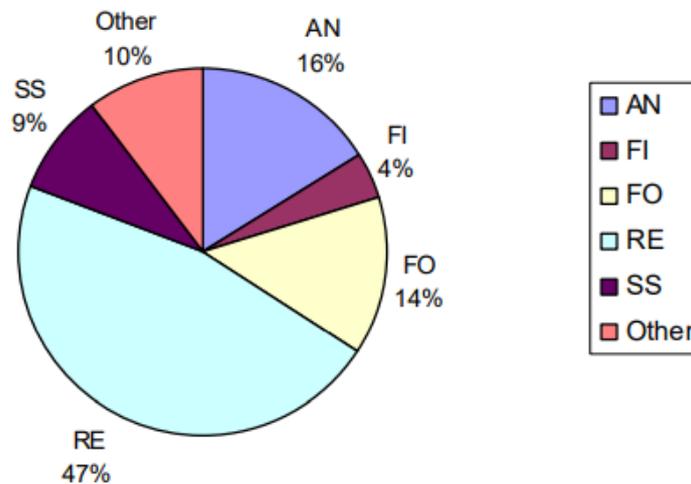


Figura 4.14: tipologie di sinistri avvenuti nell'area adiacente alla zona di lavoro (34)

Nella conclusione dell'articolo (34), gli studiosi asseriscono che la zona più sicura del cantiere autostradale risulta essere l'area di chiusura (Area 5), in quanto i conducenti viaggiano a velocità basse e non si hanno interazioni con le attività lavorative.

In un altro articolo è stata analizzata la distribuzione spaziale e le caratteristiche dei sinistri accaduti, tra il 2001 e il 2003, nelle autostrade interstatali dell'Ohio (26).

In questo caso, i ricercatori hanno focalizzato la loro attenzione solo sugli incidenti che hanno provocato morti e feriti, in modo da individuare i pericoli sulla sicurezza nelle diverse aree di cantiere.

Questo studio, rispetto a quello condotto in Virginia (34), ha diviso la zona soggetta ai lavori in 4 aree: zona di preavviso, area di transizione, area di lavoro e zona di chiusura.

In Ohio, nel periodo in esame, si sono verificati 1448 collisioni gravi, di cui 34 mortali e 1414 con feriti. La Figura 4.15 riporta il numero di sinistri gravi, fatali e con feriti, verificatesi tra il 2001 e il 2003:

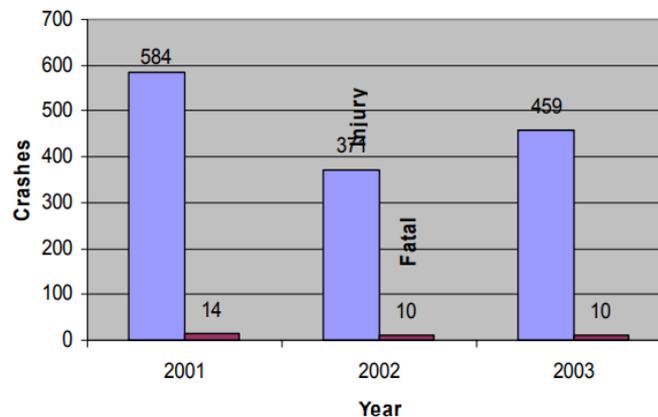


Figura 4.15: incidenti mortali e con feriti nelle autostrade (26)

Dai dati presi in considerazione, si è arrivati alla conclusione che la zona più pericolosa è quella a ridosso delle attività cantieristiche, dal momento che il 62% del totale degli incidenti ha avuto luogo in quest'area.

A seguire, come mostrato nella Figura 4.16, il 13% delle collisioni gravi si è verificato nella zona di preavviso.

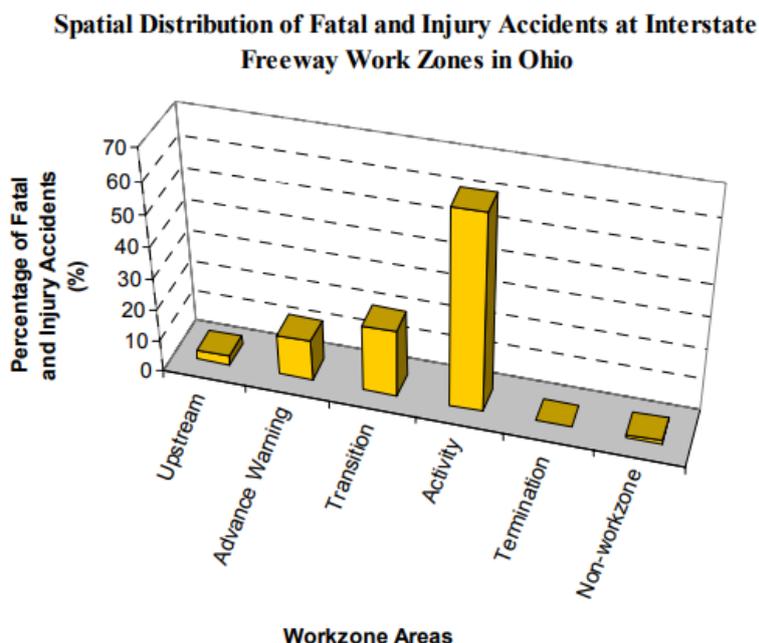


Figura 4.16: localizzazione dei sinistri nelle aree del cantiere (26)

Per quanto riguarda la tipologia di incidente, si osserva una predominanza dei tamponamenti (circa il 52%), mentre le collisioni laterali e angolari rappresentano il 14% degli incidenti gravi nelle autostrade interstatali.

Confrontando la localizzazione dei sinistri occorsi in Virginia e in Ohio, si evince una sostanziale corrispondenza dei risultati, in quanto la zona del cantiere maggiormente soggetta agli incidenti gravi è l'area a ridosso della zona di lavoro.

Le contromisure da adottare per diminuire il numero di tamponamenti, tra le vetture, consistono nel ridurre la varianza di velocità tra i veicoli. Quando gli utenti percorrono la zona del cantiere alla stessa velocità si riduce notevolmente l'incidentalità.

In un altro studio (33), condotto dai ricercatori Steven D. Schrock et al, sono stati esaminati gli incidenti accaduti nelle zone di lavoro del Texas. Successivamente, come riportato nella Tabella 4.7, si è proceduto ad effettuare una comparazione rispetto alla localizzazione delle collisioni osservate nelle aree di cantiere della Virginia (34) e del Texas.

CAPITOLO 4. FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI AUTOSTRADALI

Work Zone Location	VTRC Research*		Data Collection Period 2/03-4/04	
	#	%	#	%
Advance Warning Area	149	10	2	3
Transition Area	200	13	9	15
Longitudinal Buffer Area & Activity Area	1111	75	48	77
Termination Area	24	2	3	5
Total	24	100	62**	100

Tabella 4.7: localizzazione delle collisioni (33)

La prima colonna della Tabella precedente, denominata “VTRC Research”, si riferisce allo studio condotto in Virginia, mentre nella colonna successiva sono riportate le percentuali dei sinistri verificatesi, nelle varie aree dei cantieri presi in esame, nello Stato del Texas.

In generale, i risultati ottenuti dai due report sono affini poiché l’area più critica è quella di lavoro, mentre al termine del cantiere si sono verificati pochi incidenti.

L’unica differenza riscontrata riguarda la sottorappresentazione delle collisioni, a ridosso delle aree di preavviso, dei cantieri Texani (33). La motivazione potrebbe essere che diversi sinistri sono stati localizzati erroneamente nell’area di transizione.

In un altro lavoro (35), i ricercatori Henry Brown et al., hanno esaminato le zone di lavoro autostradali del Missouri. Nel periodo compreso tra gennaio 2009 e dicembre 2014 si sono avuti 20873 cantieri, di cui la maggior parte erano caratterizzati da durate brevi e da estensioni limitate.

La Tabella 4.8, al variare del numero delle corsie chiuse al traffico, mostra il numero e la relativa percentuale degli incidenti (PDO e gravi) nelle diverse aree della zona di lavoro:

Number of Closed Lanes	Severity		Freeway			
			Advanced Warning Area	Transition Area	Work and Buffer Area	Termination Area
0	PDO	Count	266	0	2255	0
		Percent	10.55	0.00	89.45	0.00
	Fatal-Injury	Count	84	0	692	0
		Percent	10.82	0.00	89.18	0.00
1	PDO	Count	795	255	6347	22
		Percent	10.72	3.44	85.55	0.30
	Fatal-Injury	Count	260	84	2055	6
		Percent	10.81	3.49	85.45	0.25
>1	PDO	Count	227	160	1618	15
		Percent	11.24	7.92	80.10	0.74
	Fatal-Injury	Count	86	39	496	1
		Percent	13.83	6.27	79.74	0.16

Tabella 4.8: localizzazione degli incidenti al variare del numero di corsie chiuse al traffico (35)

In base al numero delle corsie chiuse al transito, i sinistri avvenuti nell'area di lavoro e nella zona cuscinetto, sono compresi tra il 79.74% e l'89,45%.

Nella zona di preavviso, la percentuale delle collisioni varia tra il 10.55% e il 13.83%, mentre nell'area chiusura del cantiere si sono registrati pochi incidenti.

Dai dati contenuti nella Tabella precedente si evince una crescita delle collisioni, con solo danni alle cose (*pdo*), all'aumentare del numero delle corsie chiuse.

Il problema della localizzazione dei sinistri, all'interno della zona di lavoro, è stato affrontato anche in un altro report presentato da Janice R. Daniel et al (36).

Di seguito, valutando il numero degli incidenti, le zone maggiormente critiche sono:

- Area di attività (77.6%);
- Zona di preavviso (14.8%);
- Area di transizione (4.1%);
- Area di chiusura (3.5%).

La quasi totalità dei sinistri si osserva nella zona a ridosso del cantiere e in quella di preavviso dal momento che l'estensione di queste suddette aree è notevolmente maggiore rispetto alle restanti due.

Per questo motivo, è importante calcolare il tasso di incidentalità in modo da prendere in considerazione la lunghezza della zona.

È possibile calcolare l'incidentalità R , come già visto nei precedenti capitoli, tramite la seguente Formula (Equazione 4.5):

$$R = \frac{A \times 10^6}{V \times D \times L}$$

Equazione 4.5: tasso di incidentalità (36)

Dove:

A = è il numero medio delle collisioni;

V = rappresenta il volume di traffico (AADT);

D = è la durata del cantiere (giorni);

L = rappresenta la lunghezza della zona di lavoro (miglia).

La Figura 4.17 mette in evidenza la distribuzione dei sinistri, in numero e in percentuale, avvenuti in ciascuna delle aree del cantiere:

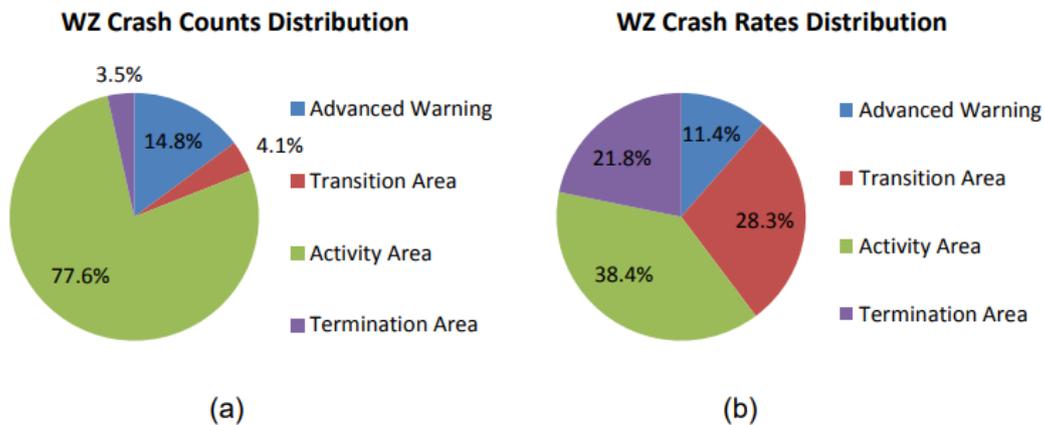


Figura 4.17: distribuzione dei sinistri, in numero e in percentuale, avvenuti in ciascuna delle aree del cantiere (36)

Considerando i tassi di incidentalità si deduce che anche la zona di transizione e quella di chiusura presentano dei problemi di sicurezza.

In uno studio cinese condotto da Hua Chai et al (37), analogo a quelli descritti precedentemente, sono state esaminate le collisioni avvenute in prossimità delle aree di lavoro.

In ordine decrescente di pericolosità, le aree maggiormente soggette agli incidenti sono quelle adiacenti alle attività cantieristiche, la zona di transizione, lo spazio cuscinetto (buffer area) e la zona di preavviso. La Figura 4.18 riporta la distribuzione spaziale dei sinistri nelle varie zone del cantiere:

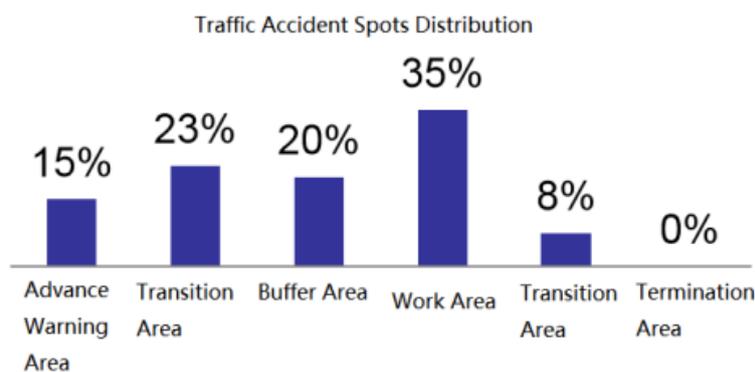


Figura 4.18: localizzazione delle collisioni (37)

Rispetto alle analisi considerate in precedenza, la percentuale relativa ai sinistri verificatisi nell'area di attività è più bassa mentre lo spazio cuscinetto e l'area di transizione risultano più pericolose. In conclusione, dopo aver analizzato diversi studi, si deduce che le zone in cui è necessario applicare delle contromisure, in modo da incrementare la sicurezza degli utenti e dei lavoratori, sono quelle a monte e in prossimità del cantiere.

CAPITOLO 4. FATTORI E LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI IN PRESENZA DEI CANTIERI
AUTOSTRADALI

CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI

La maggior parte delle autostrade italiane ed europee sono state costruite a partire dal Dopoguerra e di conseguenza, a causa della vetustà delle opere pubbliche, sono necessari interventi di manutenzione e di ripristino in modo da garantire elevati standard di sicurezza.

Quando un tratto autostradale è interessato dalle varie attività lavorative, si assiste ad un incremento della probabilità di incidente in quanto gli utenti sono soggetti a diversi rischi interferenziali.

L'obiettivo del seguente lavoro di tesi è stato quello di individuare ed analizzare le fonti di pericolo che causano una diminuzione del livello di sicurezza.

Prima di esaminare nel dettaglio le interferenze sulla viabilità, generate dall'installazione di un cantiere, si è proceduto ad analizzare i rischi correlati con l'ambiente e con la popolazione che risiede nelle vicinanze del cantiere stesso. La chiusura di una o più corsie al transito dei veicoli causa seri problemi di congestione del traffico e di inquinamento acustico ed atmosferico.

La valutazione delle esternalità può essere effettuata conoscendo i flussi di traffico prima e durante l'esecuzione dei lavori. È importante prendere in considerazione anche la composizione del parco macchine circolante, in una data nazione, poiché incide sulle emissioni degli inquinanti.

Analizzando, in dettaglio, il rischio interferenziale inerente alla congestione del traffico, è necessario conoscere anche la variazione dei tempi di percorrenza prima e durante le attività cantieristiche.

Nelle zone a ridosso dei cantieri, si assiste ad un incremento delle code e di conseguenza il costo esterno legato a tale rischio è destinato ad aumentare notevolmente.

Il restringimento della carreggiata, a causa dei cantieri, comporta un aggravamento della problematica dell'inquinamento atmosferico dal momento che l'autostrada è soggetta ad un'intensa movimentazione dei mezzi pesanti e si osservano seri problemi di circolazione del traffico.

I costi esterni, associati alle emissioni di gas serra, vengono quantificati mediante la determinazione della differenza delle emissioni di anidride carbonica (CO₂) tra la situazione "senza intervento" e "con intervento".

Un ulteriore rischio da rilevare, soprattutto nei tronchi autostradali localizzati a ridosso delle aree urbane, è quello relativo all'inquinamento acustico. È necessario definire delle fasce di pertinenza per comprendere il numero degli abitanti esposti a livelli acustici molto elevati.

Nel primo capitolo del presente lavoro, si è discusso dei rischi a cui sono soggetti gli operai a seguito delle lavorazioni e delle macchine operatrici impiegate all'interno del cantiere.

In un cantiere autostradale, è emerso che uno dei principali fattori di rischio per i lavoratori riguarda la possibilità di essere investiti da parte dei mezzi operativi. Nella valutazione dei rischi, è opportuno esaminare eventuali sostanze pericolose impiegate e tutte le varie attività che possono causare seri danni alla salute.

Diversi studi hanno evidenziato un incremento notevole del numero delle collisioni verificatesi nelle vicinanze dei cantieri rispetto ai tratti di autostrada in cui il traffico non subisce nessun tipo di turbativa.

Per questo motivo, sono stati esaminati, in maniera approfondita, i rischi esterni che dipendono dal comportamento assunto dai conducenti mentre percorrono il tronco autostradale in esame e da alcune fasi lavorative che espongono gli operai ad una serie di pericoli.

Nei pressi della zona di lavoro si è riscontrata una correlazione tra i tassi di incidentalità e la congestione poiché, a causa della formazione di code, gli automobilisti che viaggiano a velocità elevate hanno alte probabilità di tamponare le altre vetture in marcia o i mezzi di lavoro.

Le procedure di posa e di rimozione della segnaletica provvisoria sono tra le fasi più pericolose dal momento che gli operai non sono protetti da nessun tipo di protezione. In queste fasi, per allertare il più possibile gli automobilisti, è importante fare affidamento ad uno o più movieri.

La fase di affissione e di rimozione della segnaletica risulta ancora più critica sulla corsia di sorpasso in quanto gli utenti transitano a velocità notevoli.

La sosta o la fermata dei mezzi deve essere effettuata in zone ad ampia visibilità in modo da minimizzare i rischi degli utenti e degli operai. Per questa ragione, non è consigliabile sostare nei pressi di dossi, di curve o all'ingresso e all'uscita delle gallerie.

L'esecuzione dei lavori, all'interno dei tunnel autostradali, espone maggiormente gli utenti ad una serie di pericoli.

La maggior parte dei rischi interferenziali esaminati, come l'entrata e l'uscita dei mezzi dalla zona di lavoro oppure la non corretta localizzazione dello scambio, e delle prescrizioni da attuare ai fini della sicurezza sono stati analizzati mediante l'ausilio del Decreto Legislativo 22/01/2019.

I progettisti sono tenuti ad analizzare le diverse tipologie di deviazione del traffico per prediligere quella che assicura i maggiori standard di sicurezza. È assolutamente vietato collocare lo scambio nelle vicinanze di una curva in quanto i conducenti non avrebbero il tempo necessario per compiere le manovre nelle tempistiche adeguate.

Oggi giorno, sempre più spesso si procede ad eseguire le lavorazioni durante le ore notturne per non aggravare il problema della congestione nelle ore di punta. In questi casi, bisogna prestare attenzione al problema relativo all'abbagliamento così da salvaguardare la marcia degli utenti.

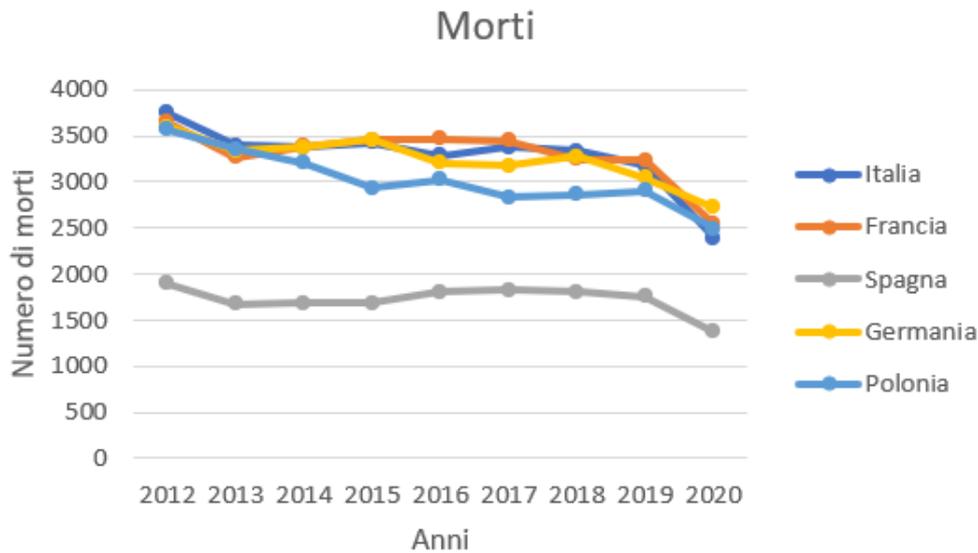
Attraverso il Decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 10 luglio 2002, è stato possibile analizzare le diverse tipologie di segnali da impiegare nei cantieri fissi e mobili.

Il segnalamento temporaneo ha la funzione di informare i conducenti, circa la presenza del cantiere, e di convincerli a adottare una guida più prudente.

I segnali devono rispettare i principi di adattamento, di coerenza, di credibilità, di visibilità e leggibilità.

Secondo il Decreto del 10 luglio 2002, a monte della zona di cantiere, è previsto l'impiego della segnaletica di avvicinamento, mentre a ridosso e a valle dell'area interessata dai lavori si utilizzano, rispettivamente, i segnali di posizione e di fine prescrizione.

Ogni anno, in Italia e in Europa, si osservano migliaia di incidenti mortali. In un periodo compreso tra il 2012 e il 2020, come rappresentato nella Figura 2.2 e sotto riportato, sono stati comparati i dati inerenti al numero totale di sinistri mortali e di vittime, provenienti dalle cinque nazioni più popolate dell'Unione Europea (Germania, Francia, Italia, Spagna e Polonia):



Da questa analisi si evince che le strade tedesche sono più sicure rispetto a quelle italiane e francesi in quanto i tre stati, di anno in anno, registrano un numero di vittime molto simile anche se la popolazione dell'Italia e della Francia è di molto inferiore rispetto a quella della Germania. La Polonia presenta i tassi di mortalità più elevati mentre i dati migliori sono quelli spagnoli.

In tutti i paesi, nel corso degli anni, si osserva un decremento del numero delle vittime.

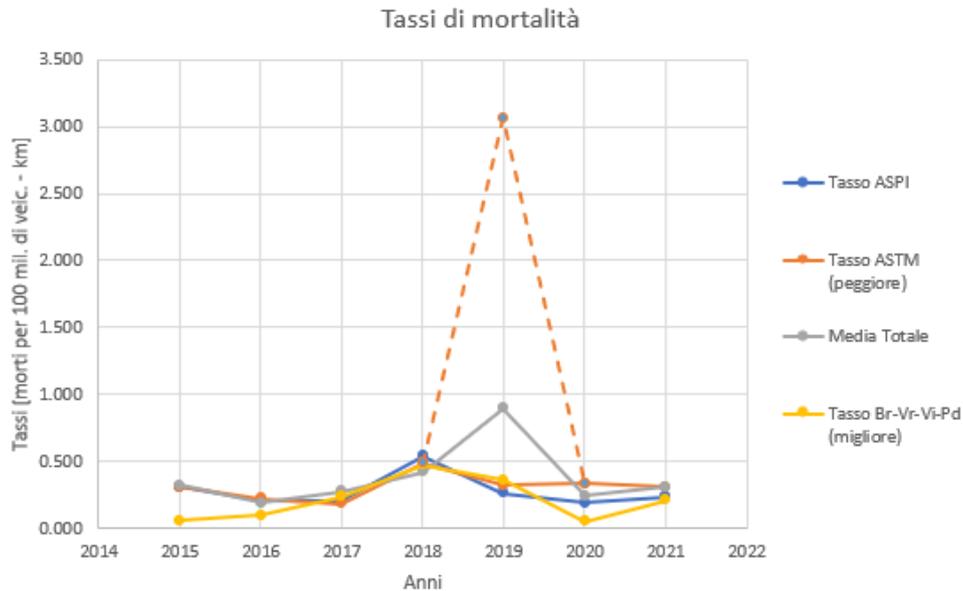
A partire dal 1970, sono stati esaminati i dati circa il numero delle collisioni fatali e dei morti verificatisi nella rete autostradale italiana.

È stata effettuata una distinzione tra le collisioni che vedono coinvolti i veicoli “leggeri” e quelli “pesanti”. I primi sono le autovetture e i motocicli mentre tutti gli altri mezzi di trasporto ricadono nella seconda categoria.

Di seguito, utilizzando i report trimestrali del notiziario Aiscat, sono stati confrontati i tassi di mortalità delle autostrade facenti parte delle maggiori società concessionarie.

I tassi di fatalità si calcolano dividendo il numero totale dei morti, registrati in ciascuna autostrada, per i volumi di traffico che transitano in 1 km di un dato segmento autostradale.

Nel grafico seguente, in un periodo compreso tra il 2015 e il 2021, sono stati confrontati i tassi di mortalità registrati nelle autostrade appartenenti alle principali società concessionarie (ASPI e ASTM) rispetto al valore medio e minore del tasso:



L'incidentalità nelle autostrade può essere stimata tramite l'utilizzo dei metodi predittivi. Il Manuale della sicurezza stradale (HSM – Highway Safety Manual) consente di valutare le infrastrutture in termini di frequenza e di gravità dei sinistri.

L'HSM permette sia di riconoscere i fattori che contribuiscono all'accadimento degli incidenti che di determinare i benefici, in termini di riduzione delle collisioni, dopo aver implementato diversi trattamenti.

La stima della frequenza prevista delle collisioni può essere eseguita per le condizioni esistenti o per verificare la sicurezza delle autostrade che verranno costruite in un secondo tempo.

Il seguente metodo predittivo può essere suddiviso in 18 fasi e attraverso l'utilizzo dei fattori CMF si ricava la frequenza media dei sinistri nel tronco autostradale in esame.

La stima della frequenza prevista degli incidenti può essere eseguita per le condizioni esistenti o per verificare la sicurezza delle autostrade che verranno costruite in un secondo momento.

Il metodo Empirical Bayes (EB) viene usato per determinare l'incidentalità ipotizzata per una data sezione trasversale, tipo di controllo, di incidente e di gravità.

La frequenza media dei sinistri si ottiene moltiplicando quella supposta per le condizioni di base per i diversi fattori di modifica degli incidenti (CMF).

È necessario fare affidamento alle appropriate funzioni di prestazione della sicurezza (SPF) per essere in grado di effettuare le previsioni degli incidenti, nelle condizioni di base, per quel dato sito.

Quando bisogna valutare le collisioni di tipo autonomo o multiplo, le funzioni SPF e i relativi coefficienti differiscono tra di loro.

Lo studio delle misure preventive, da attuare nelle zone a ridosso dei cantieri autostradali, è stato eseguito dalla Conferenza dei Gestori Europei delle Strade (CEDR). Quest'ultima organizzazione, mediante diversi progetti di ricerca, promuove la sicurezza degli operai nelle attività di costruzione e di manutenzione delle opere pubbliche e fornisce una panoramica delle migliori pratiche di gestione del traffico.

Nello specifico, nel progetto ASAP, sono stati analizzati e proposti dei metodi di gestione della velocità nelle aree di cantiere. Le linee guida ASAP, per limitare la velocità nelle zone di lavoro, propongono 23 diverse contromisure come l'autoveloce, la presenza delle forze di polizia o l'utilizzo di bande sonore.

In un altro progetto, denominato IRIS, i ricercatori hanno illustrato le pratiche di gestione del traffico ottimali, atte a prevenire le incursioni all'interno del cantiere, e hanno fornito alle varie autorità nazionali degli strumenti utili per adeguare le loro linee guida.

I metodi di previsione dei sinistri, sviluppati dall'HSM, si riferiscono alle autostrade presenti negli Stati Uniti. Nel seguente lavoro di tesi, è stato esaminato lo studio condotto nel progetto PRACT poiché i ricercatori, attraverso opportune calibrature dei fattori CMF, sono riusciti ad applicare tali modelli anche per le reti stradali europee.

Successivamente, si è proceduto ad esaminare il metodo Empirical Bayes Before – After e il binomiale negativo dal momento che sono ampiamente utilizzati nelle fasi di stima dei sinistri.

Prima di approfondire i parametri che contribuiscono alla quasi totalità degli incidenti, nelle zone a ridosso del cantiere, sono stati esaminati i fattori che comportano una diminuzione dei livelli di sicurezza nelle autostrade.

Diversi studi hanno dimostrato un incremento dei rischi, a cui sono esposti gli utenti, se le autostrade non sono protette dallo spartitraffico o in caso di condizioni meteorologiche avverse. All'aumentare dei volumi di traffico si registra un notevole aumento dei sinistri.

In prossimità dei cantieri autostradali, la probabilità di accadimento degli incidenti dipende da una serie di fattori che bisogna prendere in considerazione.

Gli ingegneri, nella valutazione dei rischi legati alla viabilità, devono prendere in considerazione l'estensione dei cantieri autostradali. Nel caso di ampi tratti interessati dai lavori, gli utenti sono particolarmente esposti a molteplici rischi in quanto potrebbero essere coinvolti in incidenti con i mezzi operativi o con gli altri veicoli a causa degli ingorghi.

In un report, è stato dimostrato un incremento della frequenza dei sinistri pari allo 0,6718% ad ogni aumento dell'1% dell'estensione della zona di lavoro.

Nei cantieri molto estesi si registrano problemi di congestione a causa dell'alta probabilità di imbattersi in mezzi pesanti che viaggiano a velocità limitate.

Un altro aspetto da non sottovalutare riguarda la frequenza dei cantieri localizzati in un determinato tronco autostradale. Un numero elevato di zone di lavoro causa disagi alla circolazione provocando un aumento degli incidenti.

La durata delle lavorazioni, rispetto all'estensione del cantiere, incide maggiormente sulla diminuzione degli standard di sicurezza degli utenti poiché, all'aumentare dell'1% del parametro in esame, si assiste ad un incremento pari all'1,1149% della frequenza dei sinistri.

Diminuendo la durata delle attività lavorative si ottiene un decremento maggiore della frequenza degli incidenti gravi rispetto a quelli in cui non si osservano feriti.

I flussi di traffico elevati sono responsabili di molti tamponamenti verificatisi nelle aree di lavoro. In diversi studi, all'aumentare del traffico giornaliero medio annuo (ADT), le collisioni di tipo *pdo* hanno subito un incremento maggiore rispetto a quelli mortali.

La chiusura di una o più corsie della carreggiata causa una riduzione della capacità. Per questa ragione, è opportuno individuare il miglior periodo di cantierizzazione in modo da non aggravare il problema della congestione.

Nella zona a monte e in quella adiacente all'area di lavoro, le condizioni di deflusso più sicure si ottengono quando i conducenti adottano velocità simili.

Una riduzione del limite di velocità compreso tra i 10 km/h e i 20 km/h rappresenta la procedura da seguire affinché gli incidenti non aumentino di molto.

È importante selezionare gli opportuni limiti di velocità in quanto gli automobilisti sono invogliati a adottare una velocità che è in linea con le loro aspettative.

Analizzando i risultati di diversi studi si evince che il numero di sinistri nelle aree di cantiere autostradali, durante le giornate piovose, è minore rispetto a quelle soleggiate/nuvolose poiché gli utenti guidano a velocità più basse e molti lavori vengono sospesi durante le condizioni meteorologiche avverse.

Negli ultimi anni, si preferisce eseguire i lavori durante le ore notturne a causa dei volumi di traffico notevolmente più bassi rispetto al resto della giornata. L'illuminazione scarsa o assente, nelle vicinanze del cantiere, comporta l'insorgere di problemi di sicurezza dal momento che i mezzi operativi e i lavoratori potrebbero non essere ben visibili.

Nel corso della notte, gli automobilisti transitano a velocità sostenute andando ad acuire i rischi a cui sono soggetti i lavoratori. Tuttavia, i volumi di traffico più bassi, rispetto a quelli osservati durante le ore diurne, compensano tale rischio incrementale.

Nel seguente lavoro di tesi, è stata analizzata la relazione che sussiste tra la chiusura al transito di una o più corsie e l'aumento dei sinistri.

Esaminando i fattori CMF, inerenti alle zone di lavoro autostradali, è stato possibile quantificare il peggioramento degli standard di sicurezza per ciascuna configurazione del cantiere.

In un'autostrada composta da 2 corsie, è stato dimostrato che chiudere al traffico la corsia di marcia comporta un incremento delle collisioni del 62% rispetto alle condizioni normali di marcia.

Le procedure di immissione, nella corsia veloce, sono pericolose dal momento che diversi automobilisti potrebbero viaggiare a velocità elevate e di conseguenza non avrebbero il tempo necessario per decelerare e per evitare gli altri veicoli.

Quando gli utenti sono obbligati ad immettersi in una sola corsia, in una carreggiata costituita da 3 corsie per senso di marcia, gli operai e i conducenti potrebbero facilmente essere vittime di incidenti.

Il cantiere, secondo il Manuale sui dispositivi di controllo del traffico, è costituito da cinque diverse aree: di preavviso, di transizione, di lavoro, zona cuscinetto (buffer) e di chiusura.

La distribuzione degli incidenti, all'interno delle cinque zone menzionate in precedenza, non è uniforme in quanto esistono delle aree più pericolose delle altre.

È possibile osservare una prevalenza dei sinistri nella zona a ridosso dell'area di lavoro dal momento che l'estensione di questa zona è maggiore rispetto alle altre.

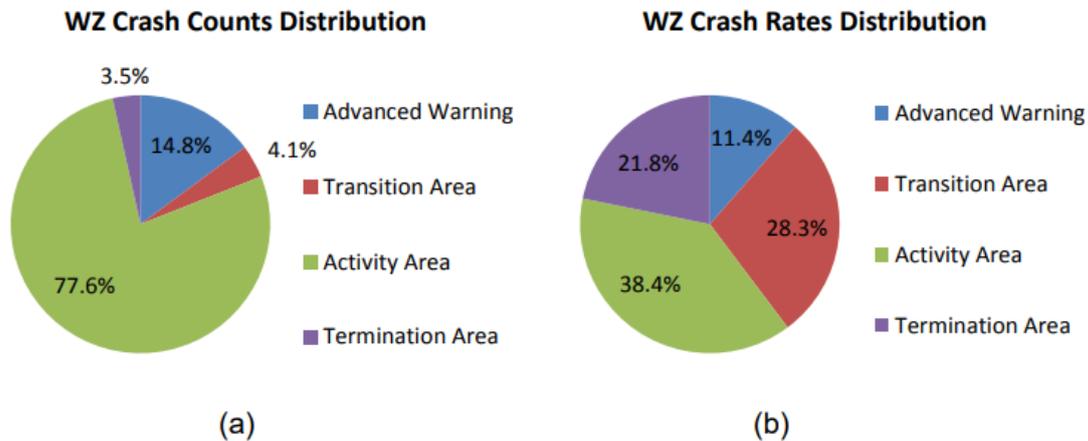
Nelle autostrade interstatali della Virginia, la tipologia di incidente prevalente è il tamponamento (RE) a causa della varianza di velocità dei veicoli che transitano in quel determinato tronco autostradale.

Altri tipi di sinistri abbastanza comuni sono quelli laterali (SS) e le collisioni dovute alla presenza di oggetti o materiale di lavoro sulla carreggiata (FO).

Tra le varie zone del cantiere, si osservano delle differenze riguardo alla tipologia di incidente. Ad esempio, nell'area di preavviso, i tamponamenti sono la quasi totalità dei sinistri a causa della differenza di velocità tra le vetture mentre, nella zona di transizione, si assiste ad un incremento percentuale delle collisioni laterali dovute alle manovre di immissione nella corsia aperta al transito.

La maggior parte dei sinistri si verifica nella zona adiacente al cantiere e in quella di preavviso in quanto queste due aree sono molto più estese rispetto alle altre. Per questa ragione, sono stati calcolati i tassi di incidentalità normalizzati rispetto alla lunghezza della zona del cantiere in esame.

Nella Figura 4.17 e sottoriportata, considerando i tassi dei sinistri, si deduce che tutte le aree presentano dei rischi di sicurezza:



È importante confutare le analisi effettuate nel lavoro di tesi attraverso delle simulazioni o dei casi studio reali che tengano, ad esempio, in considerazione eventuali contromisure da adottare per ridurre i rischi interferenziali in ambito autostradale.

La maggior parte degli studi è stato condotto negli Stati Uniti e per questa ragione è di primaria importanza eseguire delle analisi, in ambito europeo, riguardo la tipologia e la localizzazione dei sinistri, osservati a ridosso delle aree di cantiere, per poi confrontare i risultati con quelli statunitensi.

Si riscontrano delle differenze riguardo la composizione demografica, le tipologie di vetture e le motivazioni dei viaggi tra i cittadini europei ed americani. Probabilmente, questi fattori incidono sulla variazione dei sinistri riscontrati nelle zone adiacenti ai cantieri.

I modelli predittivi, come quello proposto dall'HSM o il binomiale negativo, è opportuno utilizzarli per stimare l'incremento delle collisioni in tronchi autostradali interessati dalle diverse attività cantieristiche.

Per avvalorare i risultati ottenuti dai diversi report presi in esame, è interessante considerare i dati degli incidenti registrati nei tratti autostradali italiani soggetti alle lavorazioni. Di seguito, verranno utilizzati per stimare la frequenza delle collisioni e per individuare, ad esempio, le contromisure da implementare per massimizzare la sicurezza.

Uno degli obiettivi delle ricerche future sarà quello di individuare i tipi di contromisure che garantiscono una riduzione dei rischi interferenziali in ambito autostradale.

L'utilizzo di strumenti ITS, come il monitoraggio del traffico o le informazioni sui tempi di percorrenza, possono migliorare la sicurezza e la mobilità degli utenti nelle zone di lavoro (38).

I rischi a cui sono esposti i lavoratori possono essere diminuiti adottando delle tecnologie in grado di prevenire e di mitigare le intrusioni dei veicoli all'interno delle zone di lavoro.

Esistono diverse tecnologie che possono essere impiegate come i sensori montati nei cono o sui mezzi di lavoro oppure le barriere mobili posizionate tra i veicoli in marcia e il cantiere.

La Figura 5.1 riporta un esempio di barriera mobile utilizzata in autostrada:



Figura 5.1: barriera mobile che protegge gli operai in un cantiere autostradale (39)

Una tematica che andrebbe approfondita riguarda l'analisi e la comparazione dei diversi dispositivi in modo da identificare quelli che permettono di minimizzare i rischi interferenziali tra utenti e operai.

Nelle zone di lavoro, solitamente, si fa affidamento a degli strumenti che hanno l'obiettivo di far ridurre la velocità degli automobilisti.

Nella tesi, ad esempio, non è stata esaminata la relazione che sussiste tra le varie tecniche di gestione della velocità che possono essere attuate, nell'area di preavviso del cantiere, e i diversi tipi di cantiere autostradali.

Tra le diverse nazioni europee si riscontrano delle differenze circa i sistemi di segnalamento adottati per i cantieri autostradali. Necessita un approfondimento l'analisi delle tipologie di segnali utilizzati nei cantieri fissi e mobili, in funzione della durata dei lavori, e le prescrizioni che le varie nazioni europee seguono, per salvaguardare la sicurezza degli operatori, durante le fasi di posa e di rimozione della segnaletica.

Nella valutazione dei rischi, nei pressi di una zona di lavoro, è necessario considerare l'evoluzione tecnologica che sta interessando sempre di più il settore automobilistico.

Le automobili di ultima generazione sono dotate di diversi sensori e telecamere che permettono la frenata automatica di emergenza in caso di pericoli imminenti nell'area adiacente ai lavori.

In futuro, lo sviluppo di nuove tecnologie come la guida autonoma potrebbero ridurre notevolmente i fattori di rischio e diminuire i tassi di incidentalità in quanto non esisterebbero, ad esempio, i problemi legati al mancato rispetto dei limiti di velocità e, in generale, del Codice della Strada.

L'Italia è uno dei paesi dell'Unione Europea con il maggior numero di automobili rispetto alla popolazione. In una possibile ricerca futura, oggetto dello studio potrebbe riguardare l'analisi della seguente tematica e capire se lo sviluppo dei mezzi di trasporto pubblico, oltre a ridurre i problemi di inquinamento atmosferico e di congestione del traffico, porterebbe benefici in termini di riduzione dei vari rischi che sono stati menzionati nel lavoro di tesi.

APPENDICE 1. FATTORI CHE INFLUENZANO GLI INCIDENTI NELLE AUTOSTRADE

Negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi, come quello eseguito dai professori *Ciro Caliendo et al* (40), per stabilire le relazioni tra le collisioni e il flusso di traffico, le caratteristiche geometriche delle infrastrutture e i fattori ambientali per le strade rurali a due corsie. Al contrario, i modelli di previsione degli incidenti, basati sulle strade rurali a più corsie, sono stati poco approfonditi.

In questo studio sono stati creati dei modelli predittivi dei sinistri per un'autostrada italiana a quattro corsie con spartitraffico sulla base dei dati di incidentalità osservati durante un periodo di monitoraggio di cinque anni, tra il 1999 e il 2003.

Gli indicatori di incidente più comuni sono il numero di collisioni all'anno (frequenza di incidenti) e il numero di sinistri per milione di veicoli – chilometro (tasso di incidenti). I tamponamenti possono non essere una funzione lineare del flusso di traffico e della lunghezza della sezione e di conseguenza è preferibile utilizzare la frequenza degli incidenti come variabile dipendente per i modelli predittivi.

L'incidentalità è influenzata da molte variabili come il flusso di traffico, la lunghezza della sezione, le caratteristiche geometriche dell'infrastruttura, le condizioni della superficie della pavimentazione, l'illuminazione, le condizioni meteorologiche e il comportamento del conducente. Il valore di alcune variabili è talvolta difficile da stimare e l'influenza di tali parametri sui sinistri può non essere ugualmente significativa.

La geometria della strada e i volumi di traffico sono stati da anni riconosciuti come le cause principali delle collisioni, mentre solo recentemente il comportamento umano viene anche considerato come uno dei fattori principali per l'incorrere delle collisioni.

I modelli predittivi, sviluppati dai Professori dell'Università di Salerno (40), prendono in considerazione i dati provenienti dall'autostrada che collega le città di Napoli e Salerno. L'infrastruttura è lunga 46.6 km e il tracciato orizzontale dell'autostrada contiene rettilinei e curve circolari. Invece, nell'allineamento verticale si hanno diverse pendenze e curve circolari.

Durante il periodo di osservazione sono stati raccolti i dati relativi agli incidenti, alle precipitazioni, ai volumi di traffico e alle condizioni della superficie della pavimentazione.

Per ogni collisione sono stati registrati una serie di informazioni, tra cui la data e il luogo del sinistro, le caratteristiche dell'autostrada, le condizioni meteorologiche e della superficie della pavimentazione (asciutta o bagnata), il tipo e la gravità dei sinistri, il numero di veicoli e di persone coinvolti e una breve descrizione della dinamica dell'incidente.

In questo studio sono stati esaminati 1916 sinistri, di cui 21 mortali e 594 con feriti. Il 31.1% di tutti gli incidenti e il 33.4% di quelli gravi si sono verificati in curva, la quale rappresenta il 29.7% della lunghezza totale dell'infrastruttura.

In questa zona del Sud Italia, molto raramente la temperatura è scesa al di sotto dello zero e durante il periodo di monitoraggio non sono stati osservati giorni nevosi o dove è presente nebbia fitta. Infatti, condizioni meteorologiche come neve, ghiaccio o nebbia non sono state considerate cause di incidente nel caso studio. Al contrario, le precipitazioni piovose sono frequenti in quest'area.

I rapporti ufficiali sugli incidenti non contengono informazioni sulla guida in stato di ebbrezza.

Ai fini della successiva analisi statistica sono stati innanzitutto individuati i tratti stradali omogenei, cioè segmenti autostradali dove la pendenza longitudinale e la curvatura orizzontale sono costanti. Per questi segmenti, la larghezza e il numero di corsie, il tipo e la larghezza delle banchine e dello spartitraffico non cambiano.

Nello studio sono state determinate le distanze di visibilità lungo il tracciato dell'autostrada per studiare la relazione tra le collisioni e la visibilità limitata. Nelle curve orizzontali, un elemento fisico esterno alla carreggiata, come la barriera di sicurezza, viene considerato un'ostacolo che limita la visibilità del conducente. Invece, nel profilo verticale, la pavimentazione stradale in un tratto in salita viene considerata un ingombro.

Le caratteristiche della superficie stradale vengono definite dall'attrito della pavimentazione e sono espresse in termini di coefficienti di attrito laterale (SFC). Il coefficiente SFC è misurato in continuo lungo l'autostrada per tutte le corsie e per ogni direzione di marcia.

Il valore del parametro SFC, per ogni segmento di lunghezza l , è stato determinato facendo la media ponderata:

$$SFC = \sum_{i=1}^n l_i SFC_i / l$$

Equazione 5.1: calcolo di SFC

Dove:

SFC_i = è il valore dell'attrito della pavimentazione nel segmento di lunghezza l_i .

Nel periodo di monitoraggio, 273 incidenti su un totale di 1916 sinistri si sono verificati quando la pavimentazione era bagnata. Per questa condizione dell'infrastruttura, il numero di collisioni in curva è stato pari a 98 mentre nei rettilinei è stato uguale a 175. Pertanto, gli incidenti in curva hanno rappresentato il 35,9% dei sinistri totali.

La pavimentazione bagnata risulta essere un fattore significativo nell'incremento del numero di collisioni, dato che il numero previsto di incidenti aumenta di un fattore pari a 2.32 per i rettilinei e di un fattore uguale a 2.70 per le curve rispetto alle condizioni di superficie asciutta.

Nello studio in esame, si sono verificati 97 incidenti gravi, di cui 39 in curva e 58 nei rettilinei, quando la superficie della pavimentazione era bagnata. In questi casi, il numero ipotizzato di sinistri aumenta di un fattore pari a 2.81 per le tangenti e di un coefficiente uguale a 3.26 per le curve rispetto alle condizioni di superficie asciutta.

Questi risultati mostrano che una superficie bagnata aumenta maggiormente gli incidenti gravi rispetto ai sinistri con soli danni alle cose.

Dallo studio, effettuato sull'autostrada a quattro corsie con spartitraffico, si può concludere che il numero di incidenti totali e gravi in curva aumenta con la lunghezza (L), la curvatura (1/R) e il traffico giornaliero medio annuo (AADT). Invece, i sinistri diminuiscono all'aumentare della distanza di visibilità, dell'attrito della pavimentazione e della pendenza longitudinale.

Nei segmenti autostradali in rettilineo l'incidentalità aumenta con la lunghezza (L), il traffico giornaliero medio annuo (AADT) e se sono presenti gli svincoli nel tratto autostradale in esame. Le collisioni diminuiscono all'aumentare della pendenza longitudinale e dell'attrito della pavimentazione.

È interessante notare che la presenza di uno svincolo su un tratto autostradale aumenti in maniera significativa il numero atteso di incidenti gravi. Gli ingegneri dovrebbero prestare molta attenzione alla progettazione delle intersezioni, in quanto le corsie di accelerazione e decelerazione dovrebbero avere una lunghezza sufficiente tale da rendere le variazioni di velocità e le manovre più sicure.

La maggior parte degli studi ha evidenziato che gli incidenti mortali, nelle aree rurali delle autostrade, sono relativamente più alti di quelli osservati nelle aree urbane. Tuttavia, come evidenziato nella Figura 5.2, lo studio pubblicato dalla National Highway Safety Administration (NHTSA) (41) ha messo in risalto la tendenza secondo cui i decessi in autostrada nelle aree urbane, negli anni compresi tra il 2015 e il 2018, sono stati più alti rispetto alle zone rurali dei segmenti autostradali.

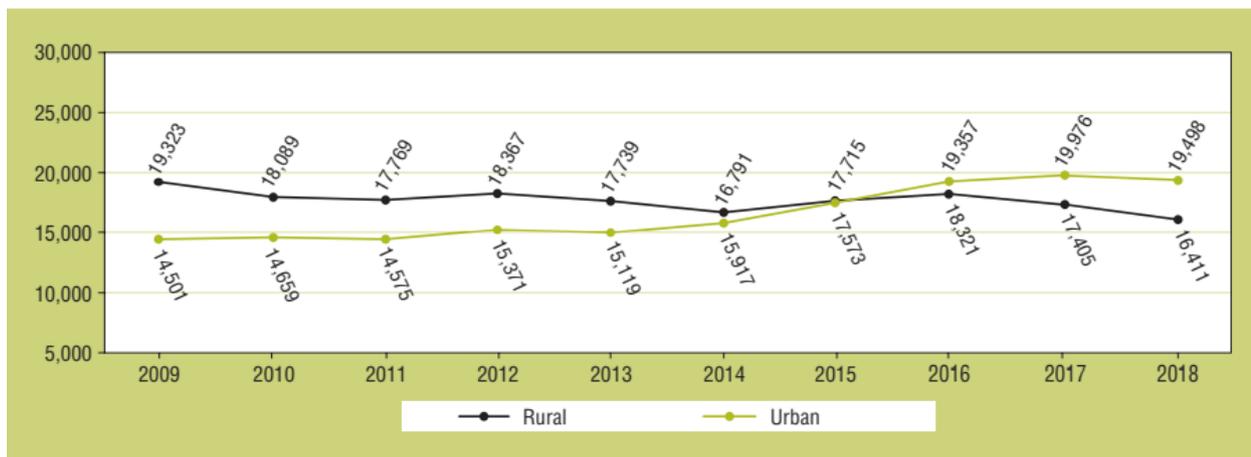


Figura 5.2: incidenti mortali nei segmenti autostradali rurali e urbani negli Stati Uniti (41)

I fattori principali che influenzano maggiormente gli incidenti mortali, quelli con lesioni non mortali e con soli danni alle cose (*pdo*), su tratti di autostrada interstatale urbana a quattro e sei corsie, sono stati analizzati nello studio effettuato dai docenti Aschalew Kassu e Mahbub Hasan (42).

L'analisi ha preso in considerazione un totale di tredici potenziali fattori che influenzano le collisioni sui segmenti delle autostrade interstatali. Le variabili sono il volume di traffico, le ore del giorno, l'illuminazione, la geometria della carreggiata, le condizioni meteorologiche e della superficie della pavimentazione, l'età e il sesso dei conducenti, il tipo di vettura e il numero di corsie.

APPENDICE 1. FATTORI CHE INFLUENZANO GLI INCIDENTI NELLE AUTOSTRADE

Nella Tabella 5.1 sono riportate le percentuali degli incidenti mortali, con lesioni non mortali e con soli danni alle cose osservate per ciascuna categoria di variabili indipendenti:

Variables		Fatal		Injury		PDO	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
Accident year	2014=4	419	19.0%	3327	21.0%	11,400	20.6%
	2012=3	412	18.7%	3127	19.7%	11,064	20.0%
	2011=2	475	21.5%	3130	19.7%	11,001	19.9%
	2011=1	474	21.5%	3298	20.8%	11,682	21.1%
	2010=0	429	19.4%	2968	18.7%	10,247	18.5%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Days of week	weekend=1	498	22.5%	3567	22.5%	12,532	22.6%
	weekday=0	1711	77.5%	12,283	77.5%	42,862	77.4%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Hour	night=3	194	8.8%	1456	9.2%	4998	9.0%
	evening=2	517	23.4%	3469	21.9%	12,490	22.5%
	afternoon=1	840	38.0%	6664	42.0%	22,116	39.9%
	morning=0	658	29.8%	4261	26.9%	15,790	28.5%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Lighting condition	dark=1	728	33.0%	4860	30.7%	17,358	31.3%
	light=0	1481	67.0%	10,990	69.3%	38,036	68.7%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Contour of roadway	curve-grade=3	332	15.0%	1674	10.6%	4822	8.7%
	curve-level=2	224	10.1%	1038	6.5%	3026	5.5%
	straight-grade=1	378	17.1%	2773	17.5%	9632	17.4%
	straight-level=0	1275	57.7%	10,365	65.4%	37,914	68.4%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Weather condition	snowy=2	134	6.1%	1452	9.2%	5744	10.4%
	rainy=1	240	10.9%	2413	15.2%	7735	14.0%
	normal=0	1835	83.1%	11,985	75.6%	41,915	75.7%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Pavement surface	snow=2	114	5.2%	1206	7.6%	5109	9.2%
	wet=1	428	19.4%	4171	26.3%	13,112	23.7%
	dry=0	1667	75.5%	10,473	66.1%	37,173	67.1%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Drivers' age	older=2	138	6.2%	906	5.7%	3359	6.1%
	middle age=1	1556	70.4%	11,080	69.9%	39,216	70.8%
	younger=0	515	23.3%	3864	24.4%	12,819	23.1%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Drivers' gender	male=1	1417	64.1%	9400	59.3%	34,650	62.6%
	female=0	792	35.9%	6450	40.7%	20,744	37.4%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Median type	unprotected=1	964	43.6%	6850	43.2%	24,616	44.4%
	protected=0	1245	56.4%	9000	56.8%	30,778	55.6%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
No. of lanes	six=1	1316	59.6%	9435	59.5%	32,107	58.0%
	four=0	893	40.4%	6415	40.5%	23,287	42.0%
	Total	2209	100.0%	15,850	100.0%	55,394	100.0%
Segment Length	Min.	0.02		0.01		0.01	
	Max.	3.9		3.9		3.9	
	Mean	1.002		0.997		1.013	
	SD	0.94		0.928		0.928	
AADT	Min.	4770		4770		4770	
	Max.	172,000		172,000		172,000	
	Mean	67,458		67,818		65,278	
	SD	30,950		31,610		31,442	

Tabella 5.1: Statistiche descrittive dei dati sugli incidenti e delle variabili utilizzate nell'analisi degli incidenti con morti, feriti non mortali e PDO avvenuti su autostrade urbane a quattro e sei corsie (42).

I conducenti sono stati classificati in tre gruppi di età: i più giovani (16-24 anni), di mezza età (25-64 anni) e gli anziani (65 anni e oltre).

Le ore mattutine e pomeridiane sono associate alla luce del giorno e presentano caratteristiche di traffico e di incidenti diverse. Le ore serali e notturne sono intrinsecamente associate al buio. È stato inserito il parametro indipendente “condizione di illuminazione” per cogliere gli effetti dell’illuminazione stradale sulle collisioni. Questa variabile aiuta anche a distinguere i sinistri avvenuti di notte in tratti privi di illuminazione stradale da quelli avvenuti di notte in segmenti autostradali dotati di illuminazione stradale.

Nel presente studio, il parametro denominato "ore del giorno" indica la fascia oraria in cui si è verificato l'incidente, come riportato dal personale delle forze dell'ordine presente sul posto.

Le quattro categorie di questa variabile sono mattina (6:00-11:59), pomeriggio (12:00-17:59), sera (18:00-21:59) e notte (12:00-5:59).

Il test di correlazione di Pearson viene eseguito per comprendere il livello di interazione tra i parametri utilizzati. La correlazione di Pearson, tra le variabili “condizioni atmosferiche” e “superficie della pavimentazione”, è uguale a 0.83, 0.814 e 0.837, rispettivamente per gli incidenti mortali, con lesioni non mortali e pdo.

Invece, la relazione tra il fattore “illuminazione” e quello denominato “ore del giorno” è pari a 0.668, 0.656 e 0.663, rispettivamente per i sinistri mortali, con feriti non mortali e pdo.

Parameters	Fatal			Injury			PDO		
	Estimate	P-value	IRR	Estimate	P-value	IRR	Estimate	P-value	IRR
Constant	13.605	0.001	810,209	13.415	0.001	670,203	13.751	0.001	937,206
Segment Length	1.45	0.001	4.26	1.491	0.001	4.442	1.469	0.001	4.345
Ln(AADT)	-0.912	0.001	0.402	-0.887	0.001	0.0412	-0.918	0.001	0.399
Day of the Week									
Weekend = 1	0.014	0.656	1.014	0.027	0.034	1.027	-0.003	0.706	0.997
Hour of the Day									
Night = 3	0.06	0.242	1.062	-0.004	0.856	0.996	0.044	0.001	1.045
Evening = 2	0.013	0.718	1.013	-0.031	0.102jlv	0.97	0.048	0.001	1.049
Afternoon = 1	0.044	0.178	1.045	-0.026	0.04	0.974	0.016	0.019	1.016
Roadway Contour									
Curve-grade = 3	-0.022	0.552	0.978	0.063	0.001	1.065	0.078	0.001	1.081
Curve-level = 2	-0.022	0.618	0.978	0.006	0.792	1.006	0.032	0.009	1.032
Straight-grade = 1	-0.073	0.039	0.929	0.011	0.437	1.011	-0.016	0.031	0.984
Weather Condition									
Snow = 2	0.352	0.001	1.422	-0.034	0.285	0.967	0.002	0.915	1.002
Rain = 1	0.177	0.004	1.194	0.031	0.143	1.031	0.025	0.035	1.025
Drivers' Age									
Older = 2	-0.035	0.559	0.966	-0.053	0.029	0.949	-0.026	0.038	0.974
Middle-aged = 1	-0.029	0.358	0.971	-0.001	0.94	0.999	-0.009	0.192	0.991
Drivers' Gender									
Male = 1	0.016	0.556	1.016	0.006	0.554	1.006	0.003	0.651	1.003
Median Type									
Unprotected = 1	0.048	0.09	1.049	0.068	0.001	1.071	0.044	0.001	1.045
Number of Lanes									
Six = 1	-0.0181	0.001	0.835	-0.196	0.001	0.822	-0.215	0.001	0.806
Accident Year									
Yr 2014 = 4	0.046	0.279	1.047	0.025	0.124	1.026	0.001	0.208	1.011
Yr 2013 = 3	0.065	0.126	1.067	-0.002	0.887	0.998	-0.012	0.18	0.988
Yr 2012 = 2	0.025	0.554	1.025	0.032	0.058	1.032	-0.008	0.35	0.992
Yr 2011 = 1	0.048	0.246	1.049	0.018	0.269	1.018	-0.001	0.948	0.999

Tabella 5.2: parametri stimati per gli incidenti con morti, feriti non mortali e danni alle cose osservati su autostrade urbane a quattro e sei corsie (42).

La Tabella precedente (Tabella 5.2) mostra i risultati delle stime dei parametri per le collisioni con morti, feriti non mortali e pdo osservati sulle autostrade interstatali urbane a quattro e sei corsie.

Il volume di traffico, la lunghezza del segmento autostradale, il tipo di spartitraffico e il numero di corsie sono fattori significativi per tutte e tre le categorie di sinistri.

I risultati indicano che non ci sono state variazioni significative delle collisioni con morti, feriti e pdo nel quinquennio di studio (2010-2014). I fattori che influenzano maggiormente gli incidenti mortali, sulle autostrade interstatali urbane a quattro e sei corsie, sono la lunghezza del segmento autostradale, ln (AADT), le condizioni meteorologiche (neve, pioggia, normale), il tipo di spartitraffico e il numero di corsie.

Il tracciato della carreggiata è suddiviso in quattro categorie: tratto dell'autostrada in rettilineo, pendenza del segmento in rettilineo, curva e pendenza del tratto in curva. Queste variabili, eccetto per i segmenti in rettilineo, non contribuiscono in maniera significativa alla probabilità di incidenti mortali nelle sezioni urbane delle autostrade interstatali.

I flussi di traffico, espressi usando il logaritmo naturale di AADT, incidono sulla probabilità di accadimento di sinistri con morti.

Nello studio è stato usato l'Incident Rate Ratios (tassi di incidente) (IRR) per analizzare il modello e il livello di significatività delle variabili indipendenti.

Il tasso IRR di ciascun parametro è pari all'esponenziale della variabile usata nel modello:

$$IRR = \exp(B)$$

Equazione 5.2: calcolo del tasso IRR

Dove:

B = rappresenta il coefficiente di ciascun parametro nel modello

I risultati della Tabella antecedente evidenziano che, rispetto alle autostrade a quattro corsie, le sezioni a sei corsie (B = - 0.0181, IRR = 0.835) riducono la probabilità di incidenti mortali del 16.5%.

Un'altra variabile che influenza i sinistri fatali sulle autostrade urbane sono le condizioni meteorologiche. Le precipitazioni (B = 0.177, IRR = 1.194) e la neve (B = 0.352, IRR = 1.422) incrementano il tasso di collisioni mortali rispettivamente del 19% e del 42%.

Le autostrade con spartitraffico non protetto (B = 0.048, IRR = 1.049) hanno una probabilità di collisioni con morti superiore di circa il 5%.

Invece, fattori come il giorno della settimana (fine settimana, giorno feriale), le ore del giorno, l'età e il sesso dei conducenti non incidono in maniera preponderante sugli incidenti mortali nelle autostrade interstatali urbane.

Dallo studio si evince come alcune variabili abbiano un effetto rilevante sui rischi riscontrati in cantiere e e sulla gravità degli incidenti.

Alcuni fattori, quali le condizioni meteorologiche e il sesso dei conducenti, non hanno avuto un effetto significativo sul numero e sulla gravità delle collisioni con lesioni non mortali, mentre fattori quali il volume di traffico, il giorno della settimana (giorno feriale, fine settimana), lo spartitraffico e il numero di corsie si sono dimostrati estremamente critici per la sicurezza autostradale.

Si sono riscontrate differenze sull'incidentalità nelle diverse fasce orarie del giorno. Infatti, nelle ore pomeridiane (mezzogiorno - 17:59) si sono avuti più collisioni rispetto alle altre ore del giorno.

I segmenti di autostrada che presentano una curvatura orizzontale e una pendenza verticale hanno una probabilità più alta del 6.5% di avere tamponamenti rispetto ai tronchi autostradali in rettilineo. Le porzioni dell'infrastruttura con spartitraffico non protetto mostrano una probabilità di collisioni non mortali superiore al 7% rispetto ai segmenti con spartitraffico protetto.

L'incidentalità nei tratti a sei corsie è inferiore del 18% rispetto ai segmenti a quattro corsie.

I conducenti più anziani (65 anni e oltre) hanno avuto il 3.4% in meno di probabilità di essere coinvolti in collisioni con feriti non mortali.

Invece, per quanto riguarda gli incidenti con soli danni alle cose (pdo) avvenuti sulle autostrade urbane, il giorno della settimana e il sesso dei conducenti non sono stati fattori significativi. Il numero di sinistri pdo è risultato maggiore del 5% durante le ore serali e notturne e maggiore del 2% durante le ore pomeridiane del giorno rispetto alla mattina.

Le parti di autostrada che non hanno nessun tipo di protezione nello spartitraffico riscontrano un aumento del 4.5% dei sinistri rispetto ai tronchi autostradali con spartitraffico protetto. In questo caso, come negli altri due tipi di severità delle collisioni, le autostrade urbane a sei corsie hanno mostrato una riduzione del 19.4% della probabilità di incidenti con soli danni alle cose (pdo).

Lo studio, eseguito dai ricercatori cinesi Chengcheng Xu et al (43), ha l'obiettivo di sviluppare modelli di previsione del rischio di incidente per le diverse condizioni meteorologiche. I risultati della ricerca aiuteranno gli ingegneri dei trasporti a potenziare le strategie di prevenzione delle collisioni per le diverse situazioni climatiche.

La relazione tra le caratteristiche del flusso di traffico e l'incidentalità, per le diverse condizioni meteorologiche, viene stimata utilizzando i dati raccolti degli incidenti, del traffico e delle diverse situazioni climatiche in una sezione di 37 chilometri dell'autostrada I-880 in California. Lungo il tratto autostradale selezionato erano presenti 44 stazioni di rilevamento del traffico e 3 stazioni meteo. In totale sono stati identificati e utilizzati nello studio 902 collisioni.

In questo studio sono state considerate tre diverse condizioni meteorologiche: cielo sereno, pioggia e visibilità ridotta. Le percentuali di incidenti verificatisi nelle giornate di bel tempo, uggiose e con scarsa visibilità, sono state rispettivamente dell'80.9%, del 12.5% e del 6.5%.

I dati relativi ai casi di non-incidente sono stati selezionati in maniera casuale nei giorni dove non si sono avuti i sinistri. Gli studiosi, per ciascun dato di collisione, hanno individuato casualmente dieci osservazioni di casi di non-incidente nelle stesse condizioni meteorologiche. Ad esempio, se un tamponamento si è verificato in condizioni di tempo sereno, i ricercatori selezionano a caso dieci casi di non-incidente avvenuti tra i giorni senza sinistri.

In condizioni di bel tempo, quando la percentuale dell'occupazione dei veicoli nella stazione di monte è inferiore al 25%, si assiste ad un incremento della probabilità delle collisioni all'aumentare della variabile "occupazione".

I dati relativi alle abitudini di guida errati, su autostrade e superstrade, sono disponibili grazie all'utilizzo del software AutoNavigator, che ha fornito dati di alta qualità sulle condizioni del flusso del traffico e dei comportamenti di guida sbagliati.

Le condotte errate al volante sono: l'accelerazione e la decelerazione brusca, la svolta rapida a destra e a sinistra e l'immissione improvvisa nella corsia di destra o di sinistra. I valori di queste variabili sono stati raccolti per un intervallo minimo di 1 s.

Gli studi sono stati condotti in una sezione lunga 20 km dell'autostrada cinese G15. Il segmento autostradale è stato diviso in porzioni lunghi 1 km per identificare accuratamente la posizione delle collisioni.

I sensori sui cellulari sono stati usati per raccogliere i dati relativi all'accelerazione e alla velocità angolare, mentre il GPS è stato utilizzato per valutare i dati inerenti alla velocità e le angolazioni delle vetture.

Un'accelerazione o decelerazione brusca viene riconosciuta dai cellulari quando l'accelerazione o la decelerazione è superiore a una data soglia di riferimento, mentre le immissioni improvvisate in un'altra corsia vengono rilevate quando l'angolo è superiore ad una certa soglia.

In particolare, un comportamento di guida meno rischioso sulla strada indica una tendenza alla diminuzione della possibilità di incidenti stradali. Dallo studio in questione, si è dedotto che per flussi di traffico alti e all'aumentare del numero di brusche accelerazioni, il numero dei sinistri aumenta.

Invece, quando l'indice di congestione era basso, i veicoli potevano circolare sull'autostrada in condizioni di flusso libero e il rischio di incidente aumentava rapidamente al crescere del numero di accelerazioni o decelerazioni brusche.

Lo studio condotto da Qikang Zheng et al (44), ha preso in esame i dati provenienti da una sezione di 17 miglia dell'autostrada I-880 della California. L'indagine ha considerato i dati sugli incidenti ottenuti dallo Statewide Integrated Traffic Records System (SWITRS) del California Department of Transportation, i valori geometrici e quelli dei rilevatori di spire raccolti in tempo reale sul sito web dell'Highway Performance Measurement System (PeMS).

In questa analisi, come illustrato nella Tabella 5.3, sono stati esaminati i dati relativi a 775 sinistri. Per ogni collisione, sono stati scelti in modo stocastico quattro casi di non - incidente controllando il tipo di sezione, il giorno della settimana e l'ora del giorno.

Section type	Crash events	Non crash events	Proportion
Basic section	82	328	10.58%
Weaving area	361	1444	46.58%
Merging area	200	800	25.81 %
Diverging area	132	528	17.03%
Total	775	3100	100%

Tabella 5.3: distribuzione dei campioni in ogni tipo di sezione (44)

La regressione logistica Bayesiana (BLR) è stata utilizzata, nel seguente studio, per realizzare dei modelli di rischio degli incidenti in tempo reale. I modelli BLR, a differenza dei modelli di regressione logistica convenzionali con coefficienti costanti, consentono ai coefficienti di seguire una sorta di distribuzione.

I risultati dei modelli di regressione bayesiana, per tutti i tipi di tratti, sono riportati nella Tabella 5.4:

Variable	Basic section			Weaving area			Merging area			Diverging area		
	Mean	S.D	z	Mean	S.D	z	Mean	S.D	z	Mean	S.D	z
AvgSpd _u										-0.034	0.014	-2.5
DevCnt _u										0.294	0.070	4.2
DevOcc _u	0.166	0.059	2.82	0.154	0.030	5.21						
AvgSpd _d	-0.027	0.011	-2.41	-0.038	0.006	-6.19	-0.046	0.007	-6.55	-0.045	0.011	-3.94
DevCnt _d	0.267	0.135	1.98	0.165	0.077	2.16						
DevSpd _d				0.047	0.024	1.97						
DifCnt _{u-d}							0.247	0.099	2.48			
DifSpd _{u-d}				0.022	0.008	2.74	0.049	0.023	2.14			
Width _s	-0.137	0.035	-3.88	-0.130	0.267	-4.87	-0.043	0.014	-3.01	-0.095	0.034	-2.78
Length				0.494	0.177	2.8	1.43	0.195	7.33			

Tabella 5.4: risultati della stima dei modelli per i quattro tipi di sezione (44)

Le variabili $Width_s$ e $AvgSpd_d$ sono significative in tutte e quattro le aree. È meno probabile che si verifichi un incidente su un segmento autostradale più ampio e con una velocità media più elevata nella stazione di rilevamento di valle.

Il fattore $Length$ è significativo solo nelle aree di manovra e di immissione, con coefficienti positivi. La causa potrebbe essere che le turbolenze del traffico, nelle zone di manovra e di immissione, sono maggiori a causa della loro morfologia.

Nelle aree di base e di scambio, i coefficienti $DevOcc_u$ e $DevSpd_d$ sono positivi e quindi i rischi di incidente aumentano al crescere della differenza standard dell'occupazione a monte e della deviazione standard della velocità a valle.

Nelle aree di manovra, le variabili $DevSpd_d$ e $DifSpd_{u-d}$ hanno una correlazione positiva con l'incidentalità. Solitamente, nelle zone di confluenza e di manovra, la differenza di velocità tra le stazioni di monte e di valle può essere causata da frequenti fenomeni di frenata, che tendono a provocare i tamponamenti.

Inoltre, nelle zone di immissione, il fattore $DifCnt_{u-d}$ è anch'esso maggiore di zero perché all'aumentare del divario del numero di veicoli tra le stazioni di monte e di valle si assiste ad un incremento dell'incidentalità.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1: esempio di congestione del traffico causato da un cantiere (3).....	12
Figura 1.2: chiusura della corsia di marcia – scarico ed installazione del segnale lavori sul margine destro (7).....	20
Figura 1.3: discesa e salita dal mezzo (7)	21
Figura 1.4: sbandieramento (7)	22
Figura 1.5: sbarramento per deviazione su carreggiata opposta (7)	23
Figura 2.1: numero di incidenti mortali in Italia, Francia, Spagna, Germania e Polonia (11).....	28
Figura 2.2: numero di vittime in Italia, Francia, Spagna, Germania e Polonia (11).....	28
Figura 2.3: numero di morti causati da tamponamenti che vedono coinvolti gli autoveicoli, i mezzi pesanti, i furgoni aventi una massa inferiore a 3.5 tonnellate, i bus e i pullman turistici (11).....	29
Figura 2.4: numero di morti nelle autostrade italiane – veicoli leggeri (12)	30
Figura 2.5: numero di morti nelle autostrade italiane – veicoli pesanti (12)	31
Figura 2.6: numero totale di morti nelle autostrade italiane (12).....	31
Figura 2.7: tassi di mortalità osservati nelle autostrade che sono gestite da diverse società concessionarie (12)	33
Figura 2.8: tassi di mortalità (12).....	34
Figura 2.9: schema segnaletico per lavori non superiori a due giorni (8).....	36
Figura 2.10: schema segnaletico per lavori di durata compresa tra tre e sette giorni (8)	37
Figura 2.11: schema segnaletico per lavori di durata superiore a sette giorni (8)	38
Figura 2.12: segnali utilizzati nel caso di lavori e di strettoia simmetrica (8)	41
Figura 2.13: segnali di prescrizione (8)	42
Figura 2.14: Testata in zona di deviazione su carreggiata a due corsie per lavori di durata superiore a due giorni (8).....	44
Figura 2.15: cantiere mobile su carreggiata a due corsie – chiusura della corsia di sorpasso (8)	46
Figura 3.1: fasi del metodo predittivo (14)	52
Figura 3.2: descrizione dei layout delle zone di lavoro (18).....	73
Figura 4.1: numero totale di tamponamenti rispetto alla popolazione a seconda degli anni (24)	80
Figura 4.2: incremento percentuale degli incidenti con morti e/o feriti al avviare della riduzione del limite di velocità (21).....	82
Figura 4.3: pannello a messaggio variabile.....	83
Figura 4.4: indici RAIR – incidenti autonomi (28).....	86
Figura 4.5: RAIR – incidenti tra due veicoli (28).....	87
Figura 4.6: distribuzione degli incidenti in base alle condizioni di illuminazione (26).....	88
Figura 4.7: chiusura al traffico della corsia di marcia (31).....	92
Figura 4.8: suddivisione di un cantiere autostradale in cinque aree (33).....	95
Figura 4.9: distribuzione degli incidenti nelle diverse aree del cantiere (34).....	96
Figura 4.10: tipologie di collisioni avvenute nelle aree di cantiere (34).....	96
Figura 4.11: tipi di incidente verificatesi nell’area di preavviso (34).....	97
Figura 4.12: tipi di collisione osservati nell’area di transizione (34).....	98
Figura 4.13: distribuzioni percentuali degli incidenti nell’area denominata “cuscinetto” (34)....	98
Figura 4.14: tipologie di sinistri avvenuti nell’area adiacente alla zona di lavoro (34).....	99
Figura 4.15: incidenti mortali e con feriti nelle autostrade (26)	99
Figura 4.16: localizzazione dei sinistri nelle aree del cantiere (26).....	100

Figura 4.17: distribuzione dei sinistri, in numero e in percentuale, avvenuti in ciascuna delle aree del cantiere (36)	103
Figura 4.18: localizzazione delle collisioni (37).....	103
Figura 5.1: barriera mobile che protegge gli operai in un cantiere autostradale (39).....	113
Figura 5.2: incidenti mortali nei segmenti autostradali rurali e urbani negli Stati Uniti (41).....	117

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1: fattori di rischio in un cantiere autostradale.....	25
Tabella 3.1: Intervalli di volume AADT applicabili per le funzioni SPF (14).....	56
Tabella 3.2: condizioni di base per le funzioni SPF inerenti agli incidenti tra più veicoli.....	57
Tabella 3.3: coefficienti SPF e parametri di dispersione inversa (14).....	58
Tabella 3.4: distribuzione dei tamponamenti per tipo di incidente nei segmenti autostradali (14)	59
Tabella 3.5: condizioni di base per le funzioni SPF inerenti agli incidenti singoli.....	59
Tabella 3.6: coefficienti SPF e parametri di dispersione inversa inerenti gli incidenti singoli (14)	60
Tabella 3.7: coefficienti SPF per gli incidenti che vedono implicato un solo veicolo su segmenti autostradali (14).....	61
Tabella 3.8: fattori di modifica degli incidenti in autostrada e corrispondenti SPF (14).....	61
Tabella 3.9: sintesi dei CMF stimati nell'ambito di PRACT (F = mortale; I = feriti; ROR = incidente autonomo che si verifica quando un veicolo esce dalla carreggiata) (18).....	69
Tabella 3.10: stima dei CMF riguardanti le zone di lavoro, il controllo della velocità e gli strati di usura ad alto attrito (18).....	74
Tabella 4.1: condizioni meteorologiche prima e durante le attività di cantiere (27).....	84
Tabella 4.2: descrizione delle variabili usate nel modello statistico dello studio (24).....	85
Tabella 4.3: percentuale degli incidenti nei tre modelli in condizioni meteorologiche buone e avverse (28).....	85
Tabella 4.4: gravità degli incidenti da intrusione nella zona di lavoro (29).....	90
Tabella 4.5: tipologie di incidenti stradali (29).....	90
Tabella 4.6: CMF nei diversi layout di cantiere (30).....	91
Tabella 4.7: localizzazione delle collisioni (33).....	101
Tabella 4.8: localizzazione degli incidenti al variare del numero di corsie chiuse al traffico (35)	101
Tabella 5.1: Statistiche descrittive dei dati sugli incidenti e delle variabili utilizzate nell'analisi degli incidenti con morti, feriti non mortali e PDO avvenuti su autostrade urbane a quattro e sei corsie (42).	118
Tabella 5.2: parametri stimati per gli incidenti con morti, feriti non mortali e danni alle cose osservati su autostrade urbane a quattro e sei corsie (42).	119
Tabella 5.3: distribuzione dei campioni in ogni tipo di sezione (44).....	123
Tabella 5.4: risultati della stima dei modelli per i quattro tipi di sezione (44).....	123

INDICE DELLE EQUAZIONI

Equazione 1.1: calcolo della variazione delle emissioni (1).....	15
Equazione 1.2: calcolo della variazione delle emissioni dei gas serra (1).....	16
Equazione 3.1: calcolo dell'incidentalità.....	53
Equazione 3.2: stima della frequenza media delle collisioni per tutte le tipologie e per tutte le gravità.....	53
Equazione 3.3: stima del numero di tamponamenti mortali o con feriti.....	53
Equazione 3.4: frequenza attesa degli incidenti autonomi con soli danni alle cose	54
Equazione 3.5: valutazione del numero di sinistri multipli con soli danni alle cose	54
Equazione 3.6: numero atteso di collisioni autonomi con soli danni alle cose.....	54
Equazione 3.7: numero totale di incidenti	55
Equazione 3.8: frequenza degli incidenti attesa durante il periodo di studio	55
Equazione 3.9: funzioni SPF per i tamponamenti.....	57
Equazione 3.10: calcolo della lunghezza effettiva del segmento autostradale	57
Equazione 3.11: calcolo del parametro di dispersione.....	58
Equazione 3.12: funzioni SPF per gli incidenti autonomi	59
Equazione 3.13: calcolo del parametro di dispersione.....	60
Equazione 3.14: aumento dell'incidentalità a causa dell'incremento della durata della zona di lavoro	62
Equazione 3.15: incremento della frequenza media degli incidenti a causa dell'aumento della lunghezza delle zone di lavoro (miglia).....	62
Equazione 3.16: calcolo AMF_{totale}	62
Equazione 3.17: numero previsto di collisioni nel periodo precedente	70
Equazione 3.18: calcolo di $NPRED, B$	70
Equazione 3.19: calcolo di $NSPF$	70
Equazione 3.20: calcolo di $NSPF$ nel caso di manti di usura ad alto attrito.....	71
Equazione 3.21: calcolo di $NPRED, A$	71
Equazione 3.22: calcolo della probabilità di accadimento delle collisioni in un anno	72
Equazione 3.23: numero previsto di sinistri.....	72
Equazione 4.1: calcolo del tasso di incidentalità totale	75
Equazione 4.2: stima della frequenza dei sinistri con e senza feriti	76
Equazione 4.3: calcolo degli indici $RAIR_i$	86
Equazione 4.4: calcolo degli indici $RAIR_{i,j}$	86
Equazione 4.5: tasso di incidentalità (36)	102
Equazione 5.1: calcolo di SFC.....	116
Equazione 5.2: calcolo del tasso IRR.....	120

BIBLIOGRAFIA

1. **F. Nola, et al.** Linee guida per la misura dei Costi Esterni nell'ambito del PON Trasporti 2000 - 2006. 2008.
2. **Danielis, Romeo.** La teoria economica e la stima dei costi esterni dei trasporti.
3. **AUTOMOBILISMO.** [Online] <https://www.automobilismo.it/autostrade-perche-tutti-questi-cantierit-35890>.
4. **Danielis, Rotaris.** Rassegna critica delle stime dei costi esterni dei trasporti. 2001.
5. **D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 - TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO. TITOLO IV - CANTIERI TEMPORANEI O MOBILI.** 2008.
6. **INAIL.** La sicurezza sul lavoro nei cantieri stradali. 2010.
7. **S.p.A., Autostrade per l'Italia.** Linee guida per la sicurezza dell'operatore su strada. 2016.
8. **trasporti, Ministero delle infrastrutture e dei.** Decreto 10 luglio 2002 - Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici, differenziati per categoria di strada, da adottare per il segnalamento temporaneo. 2002.
9. **sociali, Ministero del lavoro e delle politiche.** Individuazione della procedure di revisione, integrazione e apposizione della segnaletica stradale destinata alle attività lavorative che si svolgono in presenza di traffico veicolare. 2019.
10. **Sanità, Istituto Superiore di.** Incidenti stradali.
11. **Commission, European.** European Road Safety Observatory - Annual statistical report on road safety in the EU 2021. 2021.
12. **Aiscat.** RECOVERY PLAN: L'EUROPA ASCOLTA LE INIZIATIVE DELLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI. 2021.
13. **AASHTO.** *Highway Safety Manual.* Washington DC : s.n., 2010.
14. —. *Chapter 18 - Predictive Method for Freeways.* Washington DC : s.n., 2014.
15. **CEDR.** Call 2016 Safety End of Programme Report . Luglio 2022.
16. —. Call 2012: Safety - Final Programme Report ASAP and BRoWSEr Projects. Marzo 2016.
17. **Wikipedia.** [Online]
18. **PRACT.** Development of new Crash Modification Factors/Functions per key safety treatments. Luglio 2015.
19. **Pigman, Agent.** Highway Accidents in Construction and Maintenance Work Zones.
20. **Asad J. Khattak, et al.** Effects of work zone presence on injury and non-injury crashes.

21. Mantova, Isp. F. Gallo - RSPP Dir. Terr. Del Lavoro di. *La gestione della sicurezza nei cantieri stradali*.
22. Nagui M. Roupail, et al. Comparative Study of Short and Long-Term Urban Freeway Work Zones.
23. Jun Wang, et al. Investigation of Highway Work Zone Crashes: What We Know and What We Don't Know.
24. Raghavan Srinivasan, et al. Frequency of Work Zone Accidents on Construction Projects. 2005.
25. Hong Yang, et al. Modeling work zone crash frequency by quantifying measurement errors in work zone length. 2013.
26. O.M. Salem, et al. Spatial Distribution and Characteristics of Accident Crashes at Work Zones of Interstate Freeways in Ohio. 2006.
27. J. W. Hall, et al. Characteristics of Construction-Zone Accidents.
28. Rami Harb, et al. Freeway Work-Zone Crash Analysis and Risk Identification Using Multiple and Conditional Logistic Regression. 2008.
29. Gerald L. Ullman, Melisa D. Finley, James E. Bryden, Raghavan Srinivasan, Forrest M. Council. Traffic Safety Evaluation of Nighttime and Daytime Work Zones. 2008.
30. Torre, Francesca La. La sicurezza della circolazione in autostrada in presenza dei cantieri. 2015.
31. Stampa, La. La Stampa. [Online] 19 luglio 2022.
https://www.lastampa.it/savona/2022/07/19/news/cantieri_restringimenti_e_deviazioni_autostrade_da_incubo-5461143/.
32. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Manual on Uniform Traffic Control Devices. Washington D.C. : s.n., 2003.
33. Steven D. Schrock, et al. An analysis of fatal work zone crashes in Texas. 2004.
34. Garber, Zhao. Distribution and characteristics of crashes at different locations within work zones in Virginia. 2001.
35. Henry Brown, et al. Safety Assessment Tool for Construction Zone Work Phasing Plans. 2016.
36. Janice R. Daniel, et al. Work Zone Safety Analysis. 2013.
37. Hua Chai, et al. Discussion of active safety countermeasures of motorway work zone. 2019.
38. Nicholas D. Antonucci, et al. A Guide for Reducing Work Zone Collisions. s.l. : NCHRP, 2005.

39. John Gambatese, et al. **Guide to Alternative Technologies for Preventing and Mitigating Vehicle Intrusions into Highway Work Zones**. s.l. : NCHRP, 2022.
40. **Ciro Caliendo, et al. A crash-prediction model for multilane roads**. 2006.
41. **Administration, U. S. Department of Transportation - National Highway Traffic Safety. 2018 Fatal Motor Vehicle Crashes: Overview**. Ottobre 2019.
42. **Aschalew Kassu, et al. Factors associated with traffic crashes on urban freeways**. 2020.
43. **Chengcheng Xu, et al. Identifying crash-prone traffic conditions under different weather**. 2013.
44. **Qikang Zheng, et al. Investigating the predictability of crashes on different freeway segments using the real - time crash risk models**. 2021.
45. **Wikipedia. Teorema di Bayes**.
46. **Miao Guo, et al. A study of freeway crash risk prediction and interpretation based on risky driving behavior and traffic flow data**. 2021.
47. **Peter J. Bickel, et al. Measuring Traffic**. 2008.