

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA c.s.i.a. Prof. Ing. Lorenzo Domenichini Ordine Ingegneri di Roma N° 9585 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	---	--	---

<p><i>Unità Funzionale</i> GENERALE <i>Tipo di sistema</i> TECNICO <i>Raggruppamento di opere/attività</i> Analisi del rischio <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> Generale <i>Titolo del documento</i> Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">GE0046_F0</div>
--	--

CODICE	C G 3 4 0 0 P E X D G T C R 5 G 0 1 F 0
--------	---

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	F. Caputo	F. Caputo	L. Domenichini

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

INDICE

INDICE.....	3
Operational Risk Analysis del sistema Ponte e dei suoi collegamenti stradali	5
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia.....	5
1 Premessa.....	5
2 Documenti di riferimento.....	6
3 Abbreviazioni	6
4 Impostazione dell'analisi.....	8
5 Dati statistici caratterizzanti l'incidentalità autostradale in Italia	12
6 Stima della frequenza degli incidenti "ordinari"	16
6.1 Stima dell'incidentalità attesa	16
6.2 Stima dell'incidentalità base	17
6.2.1 Stima dell'incidentalità base nelle tratte a cielo aperto.....	17
6.2.2 Stima dell'incidentalità base nelle tratte in galleria.....	18
6.3 Stima dei valori dei coefficienti correttivi CMF	18
6.3.1 Calcolo del CMF_{geo} dovuto alla qualità geometrica del tracciato.....	18
6.3.2 Determinazione del CMF_{funz} prodotto da eccessive condizioni di interazione veicolare	21
6.3.3 Determinazione del valore di CMF_{banch} indotto da banchine di dimensione ridotta ...	21
6.3.4 Determinazione del valore di $CMF_{i/d}$ dovuto alla presenza di corsie di immissione o	22
diversione	22
6.3.5 Determinazione del valore di CMF_{Light} dovuto alla presenza di illuminazione stradale	23
notturna	23
6.3.6 Determinazione del valore di CMF_{LV} dovuto alla presenza di un limite di velocità....	23
6.3.7 Determinazione del valore di CMF_{Tutor} dovuto alla presenza di un sistema di controllo	24
della velocità tipo TUTOR.....	24
7 Stima della frequenza di eventi critici con sviluppo di incendio o di rilascio di merci pericolose.	25
7.1 Stima della frequenza di eventi critici di incendio	25
7.2 Stima della frequenza di eventi critici coinvolgenti merci pericolose	28
8 Gravità delle conseguenze e rischio atteso	31
9 Bibliografia	33

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Operational Risk Analysis del sistema Ponte e dei suoi collegamenti stradali

Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia

1 Premessa

L'Operational Risk Analysis (ORA) che sistema Ponte e dei suoi collegamenti sul versante Calabria e Sicilia è finalizzata a valutare il livello di rischio che in fase di esercizio caratterizza i suoi elementi componenti (Opere di attraversamento, collegamenti stradali, collegamenti ferroviari) al fine di valutare la sua ammissibilità sociale e validare, di conseguenza, sotto il profilo della sicurezza in esercizio, l'impostazione progettuale del sistema infrastrutturale e le modalità previste per il controllo e la gestione della circolazione. Il presente documento riguarda i criteri e le metodologie impiegate per lo sviluppo dell'ORA del sistema complessivo dei collegamenti stradali lato Calabria, sull'Opera di attraversamento e lato Sicilia con riferimento alle condizioni di circolazione stradale nell'ora di punta dei giorni feriali tipo (definite come condizioni di circolazione "normali").

L'ORA perviene alla definizione della frequenza attesa dei possibili eventi incidentali nei diversi elementi componenti il sistema ed alla stima della severità delle loro conseguenze, espressa in termini di vittime causate. Quest'ultima valutazione viene effettuata estrapolando allo specifico caso in esame le caratteristiche medie di severità dell'incidentalità autostradale, valutate sulla base di una indagine statistica dei dati storici di incidentalità della rete autostradale italiana.

Il presente documento fa riferimento all'incidentalità stradale di tipo ordinario, comprendente incidenti con coinvolgimento di veicoli singoli (per svio o collisione contro ostacoli in piattaforma) o incidenti multipli coinvolgenti più veicoli di tipo leggero (autoveicoli) o pesante (veicoli commerciali).

Il presente documento non tratta del rischio indotto nel sistema da eventi eccezionali che possono generare situazioni particolarmente critiche nei singoli componenti il sistema e di conseguenza nella circolazione stradale (quali ad esempio eventi meteorologici eccezionali, sisma, instabilità dei versanti ecc) o che possono evolvere verso condizioni di elevata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

pericolosità per l'utenza stradale (quali ad esempio eventi coinvolgenti merci pericolose all'interno dello spazio confinato delle gallerie). Per la trattazione di queste ultime situazioni si rinvia agli studi specialistici che trattano dell'ORA del Ponte sullo Stretto di Messina e dell'ORA dei tratti stradali in galleria. Per questi, il presente documento definisce i dati di input riguardanti la frequenza stimata di accadimento degli eventi incidentali che possono interessare il Ponte e le gallerie presenti lungo i collegamenti stradali sul versante calabrese e siciliano. I documenti riguardanti l'ORA sul Ponte e l'ORA in galleria sviluppano, sulla base delle frequenze di accadimento stimate nel presente rapporto, il conseguente flusso di rischio. In questo senso, il presente rapporto comprende anche l'analisi probabilistica relativa agli incidenti che possono generare, se accadono all'interno delle gallerie, gravi conseguenze secondarie, quali incidenti o guasti ai veicoli leggeri o pesanti che causano incendi o il rilascio di sostanze infiammabili o tossiche.

Il presente rapporto, infine, si riferisce al rischio per l'utenza stradale e non considera il rischio per il personale di servizio incaricato dei soccorsi o della manutenzione dei diversi componenti del sistema.

Si sottolinea infine che tutti gli approcci a disposizione per la stima dei livelli d'incidentalità attesi consentono una stima approssimata della realtà e possono fornire ed illustrare solo un ordine di grandezza della fenomenologia analizzata.

2 Documenti di riferimento

1. "Basic studies, Risk Evaluation Principles, Annex", Rev. A-02 cod. CG1000-P-RG-D-P-CG-00-00-00-00-08_A-02, COWI, del 2 luglio 2010;
2. "Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte" cod. CG3400-P-EX-D-G-TC-R5-G0-00-00-00-06-A;
3. "Analisi della domanda", cod. CG3400-P-EX-D-G-TC-M7-G0-00-00-00-05-A.

3 Abbreviazioni

- ALARP = As Low As Reasonable Possible
CdS = Codice della Strada
CMF = Crash Modification Factor (Coefficiente modificatore d'incidentalità)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- F/N = Frequenza degli eventi / Vittime attese
- ORA = Operational Risk Analysis (Analisi di rischio in esercizio)
- T_i = tasso incidentale, relativo al totale degli incidenti
- T_M = tasso di mortalità
- T_{M-F} = tasso di incidenti con morti e/o feriti
- TMS = Traffic Management System (Sistema di gestione del traffico);
- VL = Veicoli Leggeri
- VP = Veicoli Pesanti
- V_p = Velocità di progetto
- V_{amm} = Velocità ammissibile
- V_{lim} = Velocità limite

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

4 Impostazione dell'analisi

Ogni tracciato stradale, in relazione alle sue caratteristiche costruttive ed al traffico che lo percorre, ha una sua propria fisionomia nei riguardi del flusso di rischio che lo attraversa.

Il livello di esposizione al rischio che caratterizza un'infrastruttura è direttamente legato al volume di traffico che la impegna, al suo sviluppo, alle caratteristiche del suo tracciato planimetrico ed altimetrico (si consideri, ad esempio, l'influenza di lunghe salite o discese), all'organizzazione della piattaforma stradale (larghezza delle corsie, ampiezza dei margini laterali, ecc.) ed alla presenza di condizioni fisiche e di circolazione particolari, quali ad esempio l'imposizione del divieto di sorpasso per i veicoli pesanti o la presenza di zone di svincolo.

E' statisticamente accertato che tutti gli elementi di cui sopra influenzano la probabilità di accadimento di incidenti; l'indicatore che può essere assunto a rappresentare correttamente le condizioni di rischio di un tracciato stradale è il tasso di incidentalità atteso (T_{atteso}), espresso dal valore del numero degli incidenti che si prevede possano avvenire nel tratto in esame, rapportato al livello di esposizione al rischio caratteristico dell'opera, quest'ultimo definito in termini di numero di km percorsi.

In termini generali, le procedure possibili per definire la frequenza incidentale che caratterizza una infrastruttura sono di tre tipi:

- a. analisi storica dell'incidentalità stradale e degli eventi di incendio o con coinvolgimento di merci pericolose accaduti negli ultimi 5 – 10 anni nella tratta in esame;
- b. analisi dei dati storici di letteratura sull'incidentalità generica e specifica per il tipo di strada in esame. I dati in questo caso consentono di formulare un quadro di esposizione al rischio avente valenza generale, e non consentono di valutare l'influenza delle specifiche caratteristiche dell'opera in esame.
- c. Utilizzo di modelli previsionali di incidentalità, in grado di tener conto delle specifiche caratteristiche delle tratte in esame (es. all'aperto, in galleria, in funzione delle condizioni di traffico, della composizione della sezione trasversale ecc).

Nel caso in esame, trattandosi di infrastrutture di nuova realizzazione, si è fatto ricorso alla procedura c) tenendo conto, a fini prevalentemente comparativi, delle evidenze offerte dalla procedura b).

L'analisi, quindi, viene svolta facendo riferimento a modelli previsionali di incidentalità

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

disponibili in letteratura che consentono di tener conto in modo esplicito delle caratteristiche geometriche e funzionali delle infrastrutture in esame. In questo modo è possibile contestualizzare in modo esplicito (se pur su base teorica) il livello di incidentalità atteso nel “sistema” Ponte.

Il criterio seguito per definire l'entità dell'incidentalità attesa nei diversi tratti dell'infrastruttura è stato quello di rapportare l'incidentalità a quella di una infrastruttura di riferimento (definita “base”) appartenente alla stessa classe funzionale alla quale appartiene la strada in esame e caratterizzata da specifiche qualità geometriche, compositive e funzionali note. Le caratteristiche di incidentalità dell'infrastruttura di riferimento “base” sono fornite dall'applicazione dei modelli previsionali di incidentalità di cui sopra. Si è poi tenuto conto delle differenze esistenti tra le caratteristiche del caso reale in esame e quelle della strada di riferimento “base” nonché delle peculiarità specifiche del caso analizzato, attraverso l'applicazione di fattori connettivi, il cui valore è maggiore o minore dell'unità a seconda che le specifiche caratteristiche del caso in esame inducano rispettivamente un incremento o una riduzione di pericolosità, e quindi del numero di incidenti atteso. E' questo, in particolare, l'approccio adottato dal Manuale americano sulla sicurezza stradale (Highway Safety Manual – HSM) recentemente pubblicato (2010) dall'AASHTO.

L'impostazione sopra descritta viene espressa mediante l'algoritmo generale riportato nel seguito:

$$T_{atteso}^{i,k} = T_{base}^k \prod_j CMF_{i,j} \quad (1)$$

Essendo

- $T_{atteso}^{i,k}$ = tasso d'incidentalità atteso nel generico tratto omogeneo i realizzato nella specifica sede stradale k (all'aperto o in galleria)
- T_{base}^k = tasso di incidentalità caratteristico dell'infrastruttura “base” di riferimento, commisurato alle caratteristiche di quest'ultima, nella sede k (all'aperto o in galleria)¹;
- $CMF_{i,j}$ = fattore di modificazione del tasso d'incidentalità dovuto alla specificità j presente nel tratto omogeneo i ;
- i = rappresenta la generica sezione omogenea di tracciato che presenta specificità geometriche, compositive o funzionali;
- j = rappresenta la generica specificità di tracciato (geometrica, compositiva o funzionale) che rende l'infrastruttura in esame differente dal punto di vista della sicurezza, dall'infrastruttura “base” assunta come riferimento;

¹ I modelli previsionali di incidentalità sono diversi se l'infrastruttura è in sede artificiale in galleria o all'aperto in quanto l'incidentalità nelle due condizioni è influenzata da elementi sostanzialmente differenti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

k = generica sede in cui si sviluppa la sezione omogenea in esame; sono considerate due tipologie distinte di sede: all'aperto o in galleria;

L'espressione (1) si applica alla generica sezione omogenea di tracciato, intendendo per tratta omogenea lo sviluppo di tracciato lungo il quale si mantengono costanti i principali parametri ai quali i modelli previsionali di incidentalità sono sensibili. Questi, in particolare riguardano:

- I volumi di traffico;
- La composizione della sezione trasversale;
- La sede stradale (all'aperto o in galleria).

Il tasso d'incidentalità caratteristico dell'intero tracciato in esame è poi dato dalla media ponderale dei Tassi d'incidentalità delle singole sezioni omogenee di sviluppo L_i nelle quali il tracciato è suddiviso, rapportata allo sviluppo complessivo del tracciato (L_{tot}):

$$T_{atteso} = \frac{\sum_i \sum_k T_{atteso}^{i,k} * L_i}{L_{tot}} \quad (2)$$

Il numero complessivo annuo degli incidenti attesi nel tratto è quindi fornito dalla relazione (3):

$$N_{inc} = T_{atteso} * L_{tot} * TGM * 365 \quad (3)$$

La stima della frequenza di eventi "critici", (intendendo con ciò gli eventi di incendio o gli eventi coinvolgenti merci pericolose le cui conseguenze possono eccedere quelle proprie degli eventi d'incidentalità ordinaria se avvengono nell'ambiente confinato di una galleria, in relazione anche alle caratteristiche dei veicoli coinvolti e del relativo carico, nonché ad una serie di ulteriori fattori di natura prevalentemente aleatoria) è stata effettuata facendo ricorso a dati statistici disponibili in letteratura a riguardo della probabilità con cui tali eventi si presentano all'interno dell'incidentalità ordinaria e di dati statistici circa la frequenza di accadimento di guasti ai veicoli che possono indurre conseguenti aggravanti di questo tipo. In questo modo, anche quest'ultima tipologia di eventi viene posta in relazione, in linea con quanto nella realtà accade, con i fattori di rischio propri dell'infrastruttura.

Una volta definita la frequenza di accadimento degli incidenti attesi nell'intero sistema infrastrutturale, si sono valutate le possibili conseguenze degli eventi considerati in termini di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

danni arrecati alle cose, numero di feriti o numero di vittime causate.

Ai fini dell'analisi di rischio, si è fatto riferimento al numero di vittime prodotte dall'incidentalità, così da poter rappresentare i risultati ottenuti nella matrice dei rischi (approccio di tipo qualitativo) o nel diagramma F/N del danno sociale cumulato complementare (approccio di tipo quantitativo).

Anche nel caso della stima della severità delle conseguenze degli eventi nel presente rapporto si è fatto riferimento unicamente alle conseguenze dell'incidentalità stradale di tipo "ordinario", cioè a quel tipo di incidentalità le cui conseguenze dipendono solo dalla dinamica di accadimento dell'evento, e non da eventi aggravanti di tipo secondario, quali che si determinano in galleria a seguito di incendi o sversamenti di sostanze pericolose. Per la stima delle conseguenze di questi ultimi eventi, si rinvia ai rapporti specialistici in materia di analisi di rischio in galleria.

La stima delle conseguenze dell'incidentalità ordinaria è stata effettuata utilizzando dati statistici relativi alla distribuzione degli incidenti mortali per numero di vittime causate in ciascun evento. La stima è stata effettuata con riferimento a dati statistici in ambiente autostradale italiano riferiti all'ultimo triennio 2007-2009.

Infine, l'approccio prescelto per l'ORA del Ponte e dei suoi collegamenti stradali è stato di tipo quantitativo, esprimendo i risultati ottenuti in termini di curve di distribuzione cumulata sul piano F/N.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

5 Dati statistici caratterizzanti l'incidentalità autostradale in Italia

Al fine di disporre di termini di riferimento per valutare i risultati ai quali si perviene con i modelli previsionali adottati per definire la natura e la severità dell'incidentalità che caratterizza il tracciato autostradale in esame si è provveduto ad acquisire dati statistici d'incidentalità specifici dell'ambito autostradale nazionale.

Sono state considerate le seguenti fonti di dati:

- a) dati storici pubblicati da AISCAT, relativi all'intera rete autostradale in concessione e rappresentativi del livello di incidentalità medio che caratterizza la rete autostradale italiana esistente, in esercizio. Il tipo di dati disponibili riguarda il numero di incidenti gravi, con morti e feriti;
- b) dati storici relativi ad una autostrada di nuova concezione a due corsie per senso di marcia e con corsia di emergenza, che sono stati considerati come rappresentativi del livello medio di incidentalità di un tratto autostradale di caratteristiche moderne. Questa seconda fonte di dati riguarda tutti i tipi di incidenti, sia con morti e feriti, sia con solo danni alle cose;
- c) dati storici relativi alla rete autostradale nazionale riguardanti la gravità dell'incidentalità autostradale.

Il periodo di riferimento assunto, condizionato dalle disponibilità di dati, è stato il triennio 2007 – 2009 per le analisi a) e b) e 2005-2009 per l'analisi c).

I dati di incidentalità forniti dalle basi date consultate sono stati integrati con i dati relativi al traffico che ha impegnato la rete autostradale nazionale o la specifica autostrada analizzata nel periodo esaminato, così da poter determinare il valore di esposizione al rischio.

Gli indicatori utilizzati per caratterizzare i livelli di incidentalità sono stati:

- Tasso di incidentalità, espresso come numero di incidenti per 10^6 veicoli km;
- Tasso di incidentalità grave, espresso come numero di incidenti gravi, con morti e feriti, per 10^9 veicoli km;
- Tasso di mortalità, espresso come numero di vittime per 10^9 veicoli km.

Per quanto riguarda la situazione media nazionale, dai dati AISCAT 2007 – 2009 risultano i seguenti valori:

- un tasso di incidenti con morti e/o feriti (T_{M-F}): $T_{M-F} = 104 \times 10^{-9}$ incidenti/veicoli·km;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- un tasso di mortalità (T_M): $T_M = 4,11 \times 10^{-9}$ vittime/veicoli-km.

Gli stessi dati, riferiti solo all'anno 2007, portavano ad un valore del tasso di mortalità superiore al valore medio del triennio 2007-09 sopra riportato, e cioè pari a $5,4 \times 10^{-9}$ vittime/veicoli km. Ciò significa che nell'ultimo triennio la mortalità autostradale è andata diminuendo. A questo ha sensibilmente contribuito l'introduzione su circa 2200 km della rete autostradale gestita dalla Società Autostrade per l'Italia del sistema di controllo e sanzionamento delle velocità medie denominato TUTOR. Questo sistema nei primi 12 mesi di funzionamento ha fatto registrare una significativa riduzione della velocità media (-15%) e delle velocità di picco (-25%). In termini di incidentalità, dopo la sua installazione sui primi 460 km, il Tutor ha portato una riduzione del tasso di incidentalità del 19% e del tasso di mortalità del 51%.

Dai dati di incidentalità nel periodo 2007-2009 rilevati nell'autostrada presa a riferimento, risulta quanto segue:

- tasso di incidentalità (T_i), relativo al totale degli incidenti: $T_i = 0,127 \times 10^{-6}$ incidenti/veicoli-km;
- tasso di incidenti con morti e/o feriti (T_{M-F}): $T_{M-F} = 35 \times 10^{-9}$ incidenti/veicoli-km;
- rapporto di Incidenti con morti e/o feriti / incidenti totali = $0,35 \times 10^{-7} / 1,27 \times 10^{-7} = 0,28$;
- tasso di mortalità (T_M): $T_M = 1,45 \times 10^{-9}$ vittime/veicoli-km;
- rapporto del numero di vittime / incidenti totali = $0,0145 \times 10^{-7} / 1,27 \times 10^{-7} = 0,0114$.

Dai dati sopra esposti risulta che i tassi di incidentalità grave ed i tassi di mortalità dell'autostrada, presa a riferimento come autostrada "moderna" e quindi maggiormente rappresentativa della situazione riguardante la nuova "Autostrada del Ponte", sono pari a circa 1/3 dei valori medi nazionali.

Circa la severità degli eventi incidentali sono stati acquisiti dati statistici della rete autostradale nazionale relativi al quinquennio 2005-2009.

Facendo riferimento all'intera rete nel periodo in esame sono avvenuti 993 incidenti mortali, distribuiti per gravità (numero di vittime per incidente) come illustrato in Tabella 1 da cui si evince che:

- la maggior parte degli eventi mortali (87.2%) è caratterizzato da una sola vittima e solo il 2.7% è caratterizzato da 3 o più vittime;
- rapportando il numero di eventi mortali allo sviluppo di rete (intesa come numero di chilometri percorribili e quindi come sviluppo dell'asse moltiplicato per due

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

carreggiate) può essere definito il numero medio di incidenti mortali/(anno x km di carreggiata) per i diversi livelli di gravità come riportato in Tabella 2. Da questa analisi a livello di rete emerge che il numero di eventi mortali/km di riferimento (medi per l'intera rete per il quinquennio 2005-2009) è risultato di $3.48 \cdot 10^{-2}$ eventi/(anno x km).

Tabella 1: Distribuzione degli incidenti mortali per gravità sulla intera rete

Numero di vittime	NUMERO EVENTI MORTALI						Totale eventi mortali	Totale vittime
	1	2	3	4	5	6		
Anno								
2005	199	25	2	3	1	0	230	272
2006	196	37	6	2	0	0	241	296
2007	176	13	4	3	1	1	198	237
2008	157	15	3	1	0	0	176	200
2009	138	10	0	0	0	0	148	158
2005-2009	866	100	15	9	2	1	993	1'163
Incidenza % sul totale eventi mortali	87.2%	10.1%	1.5%	0.9%	0.2%	0.1%		

Tabella 2: distribuzione degli incidenti mortali/(anno x km di carreggiata) per gravità sulla intera rete

Numero di vittime	NUMERO EVENTI MORTALI / KM						Totale eventi mortali/km
	1	2	3	4	5	6	
Anno							
2005	3.49E-02	4.38E-03	3.50E-04	5.26E-04	1.75E-04	0.00E+00	4.03E-02
2006	3.43E-02	6.48E-03	1.05E-03	3.50E-04	0.00E+00	0.00E+00	4.22E-02
2007	3.08E-02	2.28E-03	7.01E-04	5.26E-04	1.75E-04	1.75E-04	3.47E-02
2008	2.75E-02	2.63E-03	5.26E-04	1.75E-04	0.00E+00	0.00E+00	3.08E-02
2009	2.42E-02	1.75E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.59E-02
Media 2005-2009	3.03E-02	3.50E-03	5.26E-04	3.15E-04	7.01E-05	3.50E-05	3.48E-02

La frequenza media di incidenti mortali l'anno per km di carreggiata autostradale è rappresentata in Figura 1 in forma di istogramma, distinta per differente gravità degli eventi (numero di vittime).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	Codice documento GE0046_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

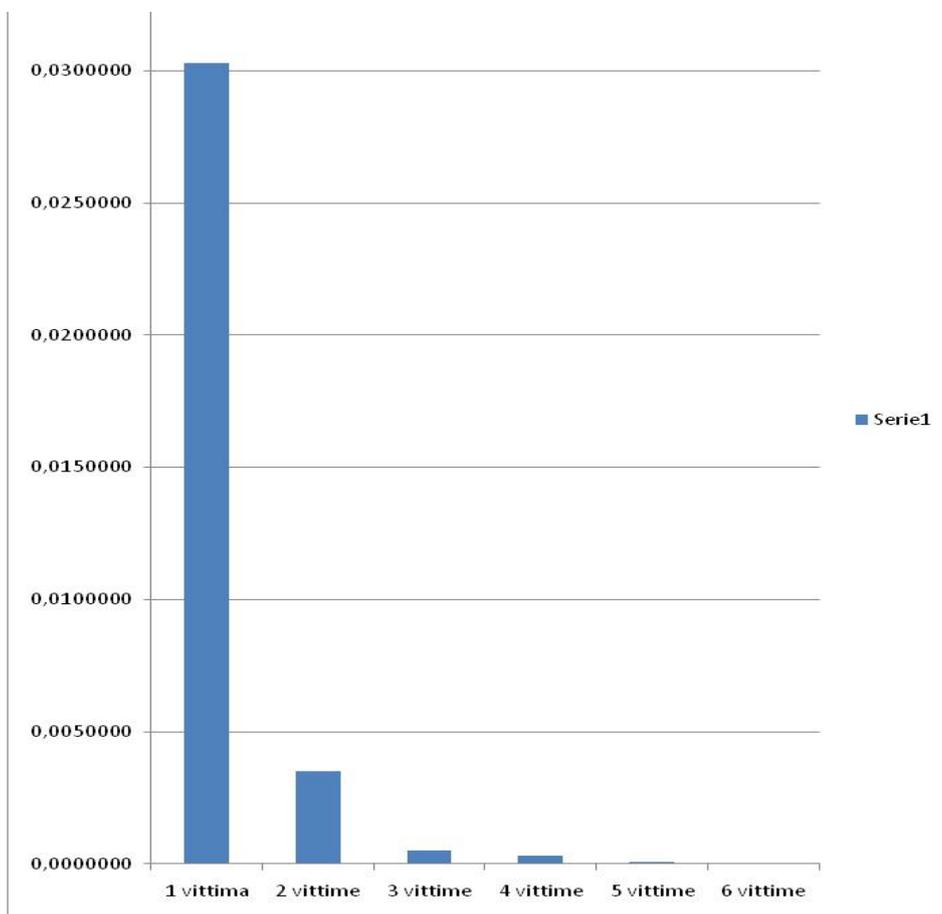


Figura 1: Frequenze di incidenti mortali l'anno per km di carreggiata autostradale (in ordinate) in relazione alla severità dell'evento (n° di vittime per incidente, in ascisse)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6 Stima della frequenza degli incidenti “ordinari”

6.1 Stima dell'incidentalità attesa

Esplicitando il criterio di analisi descritto nel precedente § 4 al caso in esame, avendo attenzione a cogliere le peculiarità del progetto, è stato possibile descrivere il modello predittivo per la stima del valore del T_{atteso} nella generica sezione omogenea i^{esima} mediante l'espressione:

$$T_{atteso} = T_{base} \cdot CMF_{geo} \cdot CMF_{funz} \cdot CMF_{banch} \cdot CMF_{i/d} \cdot CMF_{Light} \cdot CMF_{LV} \cdot CMF_{Tutor} \quad (4)$$

in cui:

T_{base} = tasso di incidentalità, denominato “base”, considerato come riferimento, commisurato alla lunghezza della tratta in esame (all'aperto o in galleria), alla composizione della sezione trasversale ed al traffico che la impegna (in termini di volume di traffico e della sua composizione).

CMF_{geo} = incremento o decremento del tasso di incidentalità base indotto dalle eventuali differenze esistenti tra le caratteristiche del tracciato reale e quelle della condizione assunta a riferimento;

CMF_{funz} = incremento del tasso d'incidentalità base indotto da condizioni di circolazione che inducono livelli d'interazione veicolare superiori a quelli che caratterizzano il tracciato di riferimento (diverse densità veicolari, presenza di situazioni di congestione ecc.). L'entità di questo ultimo incremento potenziale di incidentalità è funzione anche delle regole di circolazione imposte (divieto di sorpasso per i veicoli pesanti, imposizione di un interdistanziamento minimo tra veicoli etc.).

CMF_{banch} = incremento o decremento del tasso d'incidentalità indotto dalla presenza di una banchina in destra o in sinistra di larghezza diversa da quelle delle banchine della configurazione di riferimento.

$CMF_{i/d}$ = incremento del tasso di incidentalità indotto dalla presenza di corsie specializzate di immissione/diversione in corrispondenza di svincoli.

CMF_{Light} = decremento del tasso di incidentalità indotto dalla presenza di un impianto di illuminazione notturna.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

CMF_{LV} = decremento del tasso di incidentalità indotto dalla imposizione di un limite di velocità.

CMF_{Tutor} = decremento del tasso di incidentalità indotto dalla presenza di un sistema di controllo delle velocità praticate dagli utenti, con funzione sanzionatoria, del tipo "TUTOR".

Quale situazione di riferimento si assume un tracciato stradale caratterizzato dai parametri geometrici e funzionali previsti dal D.M. 5.11.2001 e da un regime di circolazione coerente con quello assunto nel sistema in esame.

La stima del livello di incidentalità atteso mediante l'approccio sopra indicato utilizza in parte modelli disponibili in letteratura, ed in parte utilizza strumenti che sono già stati validati singolarmente. L'approccio proposto è stato già oggetto di considerazione in altre analisi di sicurezza, esaminate positivamente dal Consiglio Superiore dei LL.PP., dall'ANAS e da Gestori Autostradali.

6.2 Stima dell'incidentalità base

6.2.1 Stima dell'incidentalità base nelle tratte a cielo aperto

Per determinare il valore di T_{base} di una tratta stradale di nuova realizzazione in fase di progetto si è fatto riferimento ad un modello previsionale di incidentalità che consente di stimare il numero di incidenti attesi in una strada avente lunghezza unitaria, in funzione delle sue caratteristiche geometriche, funzionali e compositive.

Nel caso in esame, il livello di incidentalità atteso è stato stimato mediante il modello proposto nel documento di letteratura NCHRP – Report 617 [1] per la tipologia di strada definita "Full access control, 4 lanes, rural", corrispondente alla tipologia di strada in esame.

Il modello propone una relazione empirica per stimare il numero di incidenti di tutti i tipi (con morti, feriti e danni alle cose) attesi in un anno, in funzione dei seguenti parametri: lunghezza del tratto stradale, traffico giornaliero medio (TGM), larghezza della banchina in sinistra e larghezza di banchina in destra².

² Nel calcolo del tasso base si è assunto pari a "0" il coefficiente "influence" relativo all'eventuale effetto di rampe o intersezioni, non tenendo pertanto conto di detto effetto. L'eventuale effetto di incremento dell'incidentalità base dovuto alla presenza di corsie specializzate di immissione o

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Dal numero di incidenti atteso è possibile quindi ricavare il tasso incidentale base espresso in numero di incidenti/milione di veicoli al km.

6.2.2 Stima dell'incidentalità base nelle tratte in galleria

Per stimare il valore di T_{base} in galleria si è fatto ricorso al modello previsionale di incidentalità specifica per tratte autostradali in galleria proposto dall'Ufficio Svizzero per la Prevenzione degli Infortuni (UPI) [4], che consente di stimare il numero di incidenti attesi in funzione della lunghezza della galleria e delle sue caratteristiche geometriche, funzionali e compositive.

Il modello propone una relazione empirica per stimare il numero di incidenti di tutti i tipi (con morti, feriti e danni alle cose) attesi in un anno in una galleria, in funzione dei seguenti parametri: lunghezza della galleria, traffico (TGM e % di veicoli pesanti), larghezza delle banchine e regime di circolazione (monodirezionale o bidirezionale).

Dal numero di incidenti atteso è possibile ricavare il tasso incidentale base espresso in numero di incidenti/milione di veicoli al km.

6.3 Stima dei valori dei coefficienti correttivi CMF

6.3.1 Calcolo del CMF_{geo} dovuto alla qualità geometrica del tracciato

Per determinare il valore del coefficiente CMF_{geo} , si è valutato l'incremento di incidentalità indotto dalla qualità geometrica del tracciato stradale in esame mediante la seguente procedura:

- Individuazione delle differenze esistenti tra le caratteristiche del tracciato reale e quelle del tracciato di riferimento;
- per ciascun elemento "i-mo" ove è presente almeno una differenza (eventualmente anche limitata ad una particolare condizione "k-sima" limitata nel tempo, o ad una o

diversione di svincoli è stato considerato in sede di calcolo del T_{atteso} mediante il contributo $\Delta T_{i/d}$ (v. § 6.1 e 6.3.4), applicato indifferentemente ai tratti all'aperto ed in galleria per uniformità di approccio sull'intero tracciato in progetto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

più corsie “c” di marcia) viene calcolato l’incremento o il decremento di rischio ($\Delta R_{k,c,i}$) che ciascuna di esse produce potenzialmente;

- il potenziale incremento o decremento d’incidentalità viene calcolato in forma di fattore moltiplicatore CMF considerando l’effetto dei difetti rilevati ($\Delta R_{k,c,i}$) in relazione allo sviluppo dei tratti in cui ciascuno si manifesta, parametrizzato allo sviluppo complessivo del tracciato di strada in esame.

Sulla base della predetta procedura, l’espressione per la determinazione del CMF_{geo} con cui si tiene conto delle differenze tra la configurazione di progetto e la condizione di riferimento è la seguente:

$$CMF_{geo} = 1 + \frac{\sum_{k=1}^n \left(\sum_c \sum_i L_i \Delta R_{k,c,i} \right) \cdot t_k}{L_{tot} \cdot 365 \cdot 24} \quad (5)$$

dove:

- k: rappresenta la generica condizione di calcolo della condizione di rischio che permane per t_k ore/anno;
- c: è la generica corsia di marcia;
- i: è il generico elemento di tracciato che presenta difettosità;
- L_i : rappresenta lo sviluppo del generico elemento del tracciato che presenta potenziali difettosità;
- $\Delta R_{k,c,i}$: rappresenta l’incremento di rischio indotto dall’i-esimo elemento che presenta difettosità sulla corsia “c”, nella condizione “k”;
- t_k : è il numero di ore/anno in cui sussiste la condizione di incremento di rischio $\Delta R_{k,c,i}$;
- L_{TOT} : è lo sviluppo complessivo del tratto stradale in esame.

Per quanto riguarda la determinazione dell’incremento o decremento di rischio ΔR indotto dalla presenza di differenze geometriche rilevanti nel tracciato in esame rispetto al tracciato di riferimento, si è tenuto che la maggior parte delle differenze che possono differenziare l’andamento plano-altimetrico dei due tracciati a confronto riguardano situazioni di inconsistenza tra il valore della velocità con cui ciascun tratto di strada può essere percorso in sicurezza (V_{amm}) ed il relativo valore della sua velocità di progetto (V_p). Rientrano in

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

questa categoria situazioni riguardanti ridotte distanze di visibilità, curve circolari o di transizione di raggio o parametro troppo piccolo, inconsistenze nell'andamento del diagramma delle velocità, larghezze di corsia ridotte, pendenze trasversali inadeguate (queste ultime però è stato riscontrato non avere una diretta influenza sull'incidentalità stradale [5]).

Il rischio potenziale che ogni situazione può comportare dipende dal valore della differenza tra la V_{amm} e la V_p nonché dal comportamento più o meno prudente degli utenti che percorrono il tratto di strada in questione. Quest'ultimo può essere caratterizzato mediante la distribuzione delle velocità praticate dagli utenti che viaggiano sulle diverse corsie disponibili (ed in particolare sulla corsia nella quale viene valutata la caratteristica in esame).

Qualora nel tratto sia presente una limitazione localizzata di velocità (V_{lim}) il valore della V_p viene sostituito dal valore della V_{lim} incrementato di 10 km/h e la distribuzione delle velocità operate dagli utenti viene sostituita con quella caratteristica di tratti si strada in cui sono imposti limiti di velocità coerenti col valore di V_{lim} presente nel tratto in esame.

L'incremento di rischio ΔR rispetto al valore intrinseco della strada, dovuto alla presenza di veicoli che transitano a velocità superiore a V_p dell'elemento stradale in esame (grado di inosservanza della legge, tipico della popolazione di utenti perseguibile ai sensi del CdS), può essere determinato mediante la relazione:

$$\Delta R = \frac{\text{probabilità che un utente transiti nella corsia X ad una velocità tra } V_{amm} \text{ e } V_p}{\text{probabilità che un utente nella sezione superi } V_p}$$

Definendo:

U_c la percentuale di utenti che transita nella corsia "c";

P_c la percentuale di utenti che viaggia in corsia "c" con velocità uguale o superiore alla V_{amm} (variabile da elemento a elemento) ma minore di V_p ;

P_T la percentuale di utenti che, nell'intera sezione, viaggia complessivamente con velocità uguale o superiore a V_p ;

l'incremento di rischio è dato dalla relazione:

$$\Delta R = \frac{U_c \times P_c}{P_T}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.3.2 Determinazione del CMF_{funz} prodotto da eccessive condizioni di interazione veicolare

Dall'analisi delle relazioni esistenti tra flusso e densità veicolare, velocità praticate dagli utenti, distanziamento tra i veicoli ed accelerazioni/decelerazioni operate dai veicoli per adeguarsi alle condizioni di marcia degli altri veicoli o per raggiungere le velocità desiderate, è possibile quantificare il livello di interazione tra veicoli nelle diverse possibili condizioni di funzionamento di una infrastruttura. La probabilità di accadimento di un incidente è dimostrato essere proporzionale al livello di interazione veicolare [6,7].

E' pertanto possibile porre in relazione la probabilità d'incidente con il valore del flusso di traffico (e quindi con il valore della densità veicolare), con la composizione del traffico (maggiore o minore presenza di veicoli commerciali nella mix), con le caratteristiche della strada (ed in particolare con la composizione della sua sezione trasversale) e con i regimi di circolazione imposti (limiti di velocità, divieto di sorpasso, interdistanze tra i veicoli imposte).

Nel caso del CMF_{funz} , la relazione risoltrice è rappresentata dall'espressione (6), cioè

$$CMF_{funz} = 1 + \frac{\sum_i (L_i \cdot \Delta R_i)}{L_{tot}} \quad (6)$$

dove i termini hanno i significati già detti.

Il valore di ΔR_i è determinabile conoscendo le condizioni di funzionamento sotto traffico specifiche del tratto stradale in esame, rapportate a quelle considerate come di riferimento (livello di servizio di progetto della strada di riferimento).

6.3.3 Determinazione del valore di CMF_{banch} indotto da banchine di dimensione ridotta

Per determinare l'incremento di pericolosità che caratterizza un tracciato per effetto della presenza di banchine di dimensioni diverse rispetto a quelle di cui è dotata la strada di riferimento (riduzione del franco psicotecnico della strada), è possibile ricorrere ai modelli predittivi proposti in letteratura che mettono in relazione l'incremento d'incidentalità alla dimensione delle banchine.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Nel caso in esame è possibile utilizzare i modelli predittivi adottati per la stima dell'incidentalità base (v. § 6.2). Entrambi i modelli [1,4] propongono una relazione empirica per stimare il numero di incidenti di tutti i tipi (con morti, feriti e danni alle cose) attesi in un anno in funzione di diversi parametri geometrici e funzionali, tra cui la larghezza delle banchine, e tengono quindi conto esplicitamente dell'effetto di questa grandezza sull'incidentalità.

Pertanto il valore del CMF_{banch} può essere calcolato mediante l'espressione seguente:

$$CMF_{banch} = 1 + \frac{T_{banch,effettive} - T_{banch,rif.}}{T_{banch,rif.}} \cdot 100 \quad (7)$$

6.3.4 Determinazione del valore di $CMF_{i/d}$ dovuto alla presenza di corsie di immissione o diversione

La presenza delle corsie specializzate di immissione o di diversione di uno svincolo è causa di un incremento del valore dell'incidentalità medio di un tracciato stradale o autostradale. Questo fenomeno è stato messo in evidenza da numerose analisi di incidentalità reperibili in letteratura ed è considerato anche dall' "Highway Safety Manual" [3].

In quest'ultimo documento vengono forniti due distinti valori di incremento di incidentalità, uno per corsia di immissione (CMF_i) e l'altro per quelle di diversione (CMF_d), e viene definita in 800 m l'area di influenza di una corsia specializzata (indifferentemente se di immissione o diversione), cioè lo sviluppo di strada in corrispondenza di una corsia specializzata nel quale si osserva un innalzamento del valore di incidentalità.

Definendo con L_i ed L_d rispettivamente lo sviluppo della quota parte dell'area di influenza delle immissioni o diversioni che ricade all'interno di un tratto omogeneo di strada di lunghezza L_{tot} , l'incremento di rischio $CMF_{i/d}$ può essere calcolato secondo l'espressione che segue:

$$CMF_{i/d} = \frac{L_i \cdot CMF_i + L_d \cdot CMF_d + L_{Tot} - L_i - L_d}{L_{TOT.}} \quad (8).$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.3.5 Determinazione del valore di CMF_{Light} dovuto alla presenza di illuminazione stradale notturna

Nei casi in cui determinati tratti omogenei di tracciato all'aperto siano dotati di illuminazione notturna, l'effetto benefico che questo produce sull'incidentalità [2,3] viene preso in conto applicando un valore di CMF pari a:

$$CMF_{Light} = 0,94.$$

Questo valore di CMF_{Light} è stato adottato solo alle tratte stradali all'aperto dotate di illuminazione notturna e non alle tratte in galleria, poiché il fattore dovuto alla presenza di illuminazione (generalmente presente nelle gallerie autostradali) è già implicitamente tenuto in conto dal modello UPI [4]. Pertanto nelle gallerie e nelle tratte all'aperto sprovviste di illuminazione notturna si adotta $CMF_{Light} = 1,00$.

6.3.6 Determinazione del valore di CMF_{LV} dovuto alla presenza di un limite di velocità

Per rappresentare l'effetto benefico sull'incidentalità prodotto dall'imposizione di un limite di velocità che riduce localmente la velocità ammissibile di 25 – 30 km/h rispetto al valore limite generalizzato previsto dal CdS per la categoria di strada in esame si è adottato il valore:

$$CMF_{LV} = 0,94.$$

Questo valore di CMF_{LV} è stato adottato in tutte le tratte del progetto in esame soggette all'imposizione di un limite di velocità, sia esso di 80 km/h (sulle rampe sul versante Calabrese, sul Ponte e sul tracciato sul versante siciliano dal Ponte fino alla barriera di esazione) o di 100 km/h (su parte del tracciato sul versante siciliano). Nelle tratte non soggette a limitazione di velocità è stato adottato $CMF_{LV} = 1,00$.

Questo fattore risulta integrativo rispetto al CMF_{geo} e tiene conto della maggior prudenza nella guida tenuta dagli utenti anche nelle zone sceve da inadeguate qualità geometriche (il cui effetto è considerato dal CMF_{geo}).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.3.7 Determinazione del valore di CMF_{Tutor} dovuto alla presenza di un sistema di controllo della velocità tipo TUTOR

Per rappresentare l'effetto della presenza di un sistema di controllo delle velocità veicolari, con funzione sanzionatoria, lungo tratti del tracciato stradale viene adottato uno specifico CMF_{Tutor} . Questo fattore risulta integrativo rispetto al CMF_{geo} e tiene conto della maggior prudenza nella guida tenuta dagli utenti anche nelle zone scovre da inadeguate qualità geometriche (il cui effetto è considerato dal CMF_{geo}).

Per tener conto di questo fattore sono stati adottati i seguenti valori:

- $CMF_{Tutor} = 0,95$ quando applicato al totale degli incidenti³;
- $CMF_{Tutor_{M-F}} = 0,83$ quando applicato ai soli incidenti con morti e/o feriti.

Nelle tratte non soggette a controllo delle velocità veicolari è stato adottato $CMF_{Tutor} = 1,00$.

³ Valore stimato sulla base del CMF applicato agli incidenti con morti e/o feriti (0,83) avendo assunto un 28% di incidenti con morti e/o feriti sugli incidenti totali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7 Stima della frequenza di eventi critici con sviluppo di incendio o di rilascio di merci pericolose.

7.1 Stima della frequenza di eventi critici di incendio

Gli eventi di incendio di veicoli stradali risultano generalmente critici quando accadono all'intero di gallerie, mentre quando accadono in tratte a cielo aperto non sono solitamente capaci da indurre un rischio supplementare rispetto a quello proprio dell'incidentalità stradale ordinaria. Ne consegue che la maggior parte della letteratura in merito alla probabilità di incendio riguarda l'ambito delle gallerie ed è finalizzata prevalentemente alla previsione degli incendi al loro interno.

La guida del CETU allo Studio Specifico dei Rischi [8] propone, di calcolare le frequenze degli eventi di incendio a partire da tassi stabiliti convenzionalmente.

Con riferimento a quanto sopra, il CETU fornisce i tassi tipici di incendio (senza distinzione di causa) riportati in Tabella 3

Tabella 3: Tassi tipici di incendio in galleria per 10⁸ veic.km

	Minimo	Massimo	Fuori norma
Veicoli Leggeri	2	2	2
Mezzi pesanti e autocarri	1,5	4,5	13,5
<i>Di cui incendi non domati</i>	<i>0,5</i>	<i>1,5</i>	<i>4,5</i>

Per i veicoli leggeri, il tasso non dipende dalla natura del tracciato, contrariamente al tasso d'incendi di automezzi pesanti. Il minimo è osservato nel caso di gallerie autostradali e/o urbane, senza particolari declivi d'accesso; il massimo corrisponde ad itinerari autostradali difficili per i motori (forti declivi e curve) o a strade nazionali; i casi fuori norma corrispondono a gallerie il cui accesso è molto difficile per i veicoli.

Il progetto in esame, ai fini della valutazione della frequenza degli incendi in galleria, può essere considerato ricadere interamente nella categoria di rischio d'incendio "minimo" di Tabella 3, in quanto si trova all'interno di un percorso autostradale con caratteristiche

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

geometriche che non si ritiene siano tali da configurare condizioni di marcia particolarmente gravose per i VP, tali da indurre alla scelta dei tassi di incendio propri della categoria di rischio "massima". Pertanto i tassi d'incendio senza distinzione di causa assunti a base della presente analisi di rischio sono i seguenti:

- Veicoli leggeri (VL) 2×10^{-8} incendi / veic.km;
- Veicoli pesanti (VP) $1,5 \times 10^{-8}$ incendi / veic.km.

Questi dati statistici, da soli, non consentono di contestualizzare i risultati di frequenza di incendi stimata in funzione delle caratteristiche geometriche e funzionali del tracciato stradale, come invece è richiesto (per le gallerie) dal D.Lgs 264/06. A tale scopo si osserva quanto segue.

Le cause possibili di incendi sono sostanzialmente due:

- Incendi dovuti a guasti (denominati "self");
- Incendi conseguenti ad incidenti.

Per distinguere la relativa incidenza sul numero totale di incendi, fonti di letteratura forniscono i seguenti valori del rapporto tra incendi self e incendi totali:

- 0,967 secondo il CETU [8] (29 incendi su 30 derivano da guasto);
- 0,84 secondo una statistica francese riferita a tutti gli incendi (anche senza conseguenze) avvenuti in 95 tunnels francesi tra il 2001 e il 2006 (72 incendi su 86 derivano da guasto) [9];
- 0,43 secondo le Linee Guida ANAS [10] che si riferiscono a eventi di incendio caratterizzati da elevate conseguenze verificatesi in galleria stradali in differenti paesi tra il 1968 e il 2005 (6 incendi su 14 derivano da guasti).

Nella presente analisi si assume il dato intermedio offerto dalle statistiche francesi (0,84).

Per quanto riguarda infine il rapporto esistente tra numero di incendi conseguenti a incidente e numero d'incidenti, le Linee Guida ANAS [10] riportano che 1 incidente su 20 (5%) ha come conseguenza un incendio.

Questo dato è stato quindi utilizzato per contestualizzare il numero di incendi derivanti da incidenti, derivando quest'ultimo dal tasso d'incidentalità atteso calcolato con la procedura illustrata nel § 6.1.

In tal modo si arriva a stimare il numero di incendi di veicolo leggero (VL) o di veicolo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

pesante (VP) attesi in una tratta stradale in relazione al traffico che interessa la tratta ed al tasso d'incidentalità atteso, a sua volta dipendente dalle caratteristiche geometriche e funzionali del tracciato. Si osserva tuttavia che la maggior parte degli eventi di incendio riesce ad essere controllato (con un intervento rapido da parte del guidatore) e pertanto solo una parte di questi evolvono in scenari d'incendio critici per gli utenti. Inoltre le modalità di evoluzione di un evento sono molteplici e governate da variabili prevalentemente aleatorie, e possono portare ad una innumerevole quantità di scenari possibili. Si è provveduto pertanto a definire i seguenti scenari tipici di eventi critici di cui stimare la frequenza di accadimento:

- incendio di un VL, con potenza termica massima rilasciata di 5 MW;
- incendio di un VP trasportante merci infiammabili di modesta entità, con potenza termica massima rilasciata di 30 MW;
- incendio di un VP trasportante merci altamente infiammabili⁴, con potenza termica rilasciata massima di 100 MW.

Per passare dalle frequenze d'incendio di VL e VP stimate come illustrato in precedenza, alle frequenze di accadimento di ciascuno degli scenari in elenco si sono considerati gli alberi degli eventi riportati in Figura 2 e Figura 3. Gli alberi sono stati costruiti, per assimilazione, in base ai riferimenti contenuti nelle Linee Guida ANAS [10] e alle statistiche del CETU [8].

Figura 2: Albero degli eventi per scenari di incendio di VL

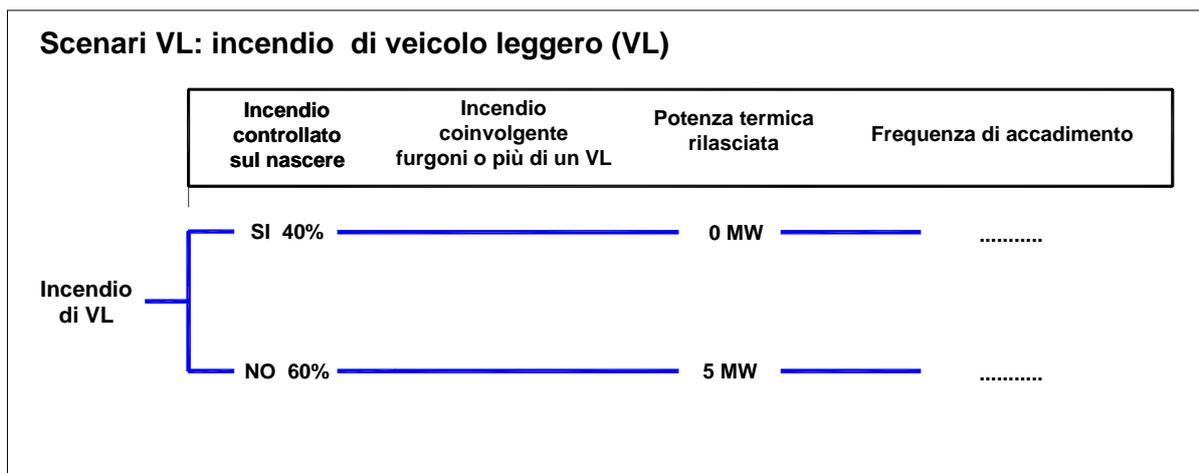
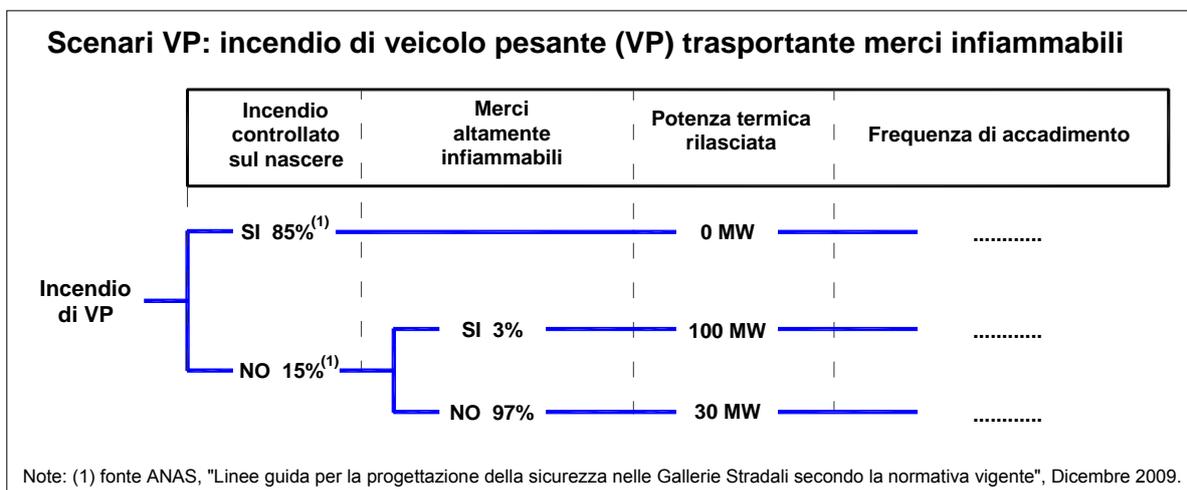


Figura 3: Albero degli eventi per scenari di incendio di VP

⁴ Trattasi di merce infiammabile non classificata come "merce pericolosa" (es. carta, legna, grassi alimentari, etc.).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



7.2 Stima della frequenza di eventi critici coinvolgenti merci pericolose

Il transito di veicoli commerciali trasportanti merci pericolose nel sistema autostradale in progetto non è soggetto a restrizioni e deve pertanto essere valutato nell'ambito della ORA. In assenza di dati specifici relativi al caso in esame, la presenza percentuale di veicoli trasportanti merci pericolose è assunta pari allo 0,24% del flusso totale, come risultante da fonti di letteratura [11].

La composizione di merci pericolose considerata è riportata nella Tabella 4⁵.

Tabella 4: Mix merci pericolose

Tipo di merce pericolosa	% sul totale delle merci pericolose trasportate
Liquidi infiammabili (v. Benzina)	73,6
Gas infiammabile liquefatto (GPL, v. Propano)	15,1
Esplosivi (v. TNT)	1,0
Altro (1)	10,3

(1) Quota parte trascurabile ai fini della sicurezza stradale.

⁵ Dato acquisito dal Conto Nazionale dei Trasporti (anno 2004) assumendo la percentuale di veicoli pari alla percentuale di massa di merci trasportate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

La frequenza di incidenti coinvolgenti merci pericolose è stimata sulla base del traffico di merci pericolose, mediante il tasso di incidentalità atteso calcolato al § 6.1.

Molti degli incidenti coinvolgenti merci pericolose non assumono caratteristiche particolari rispetto agli incidenti stradali ordinari, e solo alcuni evolvono in scenari critici per gli utenti. Inoltre le modalità di evoluzione di un evento sono molteplici e governate da variabili prevalentemente aleatorie, e possono portare ad una innumerevole quantità di scenari possibili. Si è provveduto pertanto a definire i seguenti scenari critici tipici coinvolgenti merci pericolose⁶ di cui stimare la frequenza di accadimento:

1. BLEVE da GPL trasportato in bombole;
2. "Pool fire" da combustibile liquido (es. benzina);
3. VCE da combustibile liquido (es. benzina);
4. BLEVE da GPL in serbatoio;
5. VCE da GPL in serbatoio;
6. "Torch fire" da GPL in serbatoio
7. Esplosione da carico di esplosivi (TNT).

La frequenza di accadimento dei differenti scenari con merci pericolose considerati in analisi, può essere stimata sulla base della mix di merci pericolose di riferimento⁷ (v. Tabella 4) e dei valori di probabilità di scenario in presenza di incidente riportati in Tabella 5, derivanti dall'analisi di dati statistici su scala mondiale ed acquisiti da documenti di letteratura [11, 12].

⁶ Si adottano i seguenti acronimi:

- Bleve: "Boiling liquid expanding vapour explosion" - Esplosione dei vapori generati dalla rapida ebollizione di un gas liquefatto;
- Pool fire: Incendio della superficie di una pozza di liquido infiammabile;
- VCE: "Vapour Cloud Explosion": Esplosione dovuta all'accensione di una miscela di vapori infiammabili e aria;
- Torch fire: Fiamma relativa alla combustione di un ingente efflusso gassoso da un foro.

⁷ Si assume in particolare che il 50% del GPL sia trasportato in bombole ed il 50% in serbatoio (cisterna), e che il 50% dei liquidi infiammabili abbiano sufficiente volatilità (v. benzina) da poter indurre un VCE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 5: Frequenza di scenari coinvolgenti merci pericolose

Scenario	Frazione in mix DGs	Probabilità
[1]	[2]	[3]
1	0.0755	0.00510
2	0.736	0.01960
3	0.368	0.00200
4	0.0755	0.00200
5	0.0755	0.00200
6	0.0755	0.01960
7	0.01	0.22

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8 Gravità delle conseguenze e rischio atteso

Ricordando che il presente documento si riferisce all'incidentalità di tipo "ordinario", cioè all'incidentalità le cui conseguenze dipendono unicamente dalla dinamica di accadimento dei singoli incidenti, e non da eventi aggravanti successivi all'evento stesso, per la stima della gravità degli eventi si è fatto riferimento a dati statistici richiamati nel § 5 riguardanti:

- La percentuale di incidenti mortali sull'incidentalità complessiva di tutti i tipi (con morti, con feriti e con danni alle cose);
- La distribuzione degli eventi mortali in funzione del numero di vittime che ciascun evento provoca.

Nota la frequenza di accadimento degli eventi in ciascun elemento del sistema e la stima della severità delle conseguenze, il rischio atteso è stato rappresentato sul piano F/N (frequenza eventi/ vittime attese) costruendo la curva cumulata di rischio complementare di ciascun elemento infrastrutturale del sistema viabilistico nel suo complesso. Il giudizio di ammissibilità del rischio conseguente è stato basato sul confronto delle curve di distribuzione cumulata sopra dette con l'unico riferimento assoluto oggi disponibile che è rappresentato dal criterio ALARP (As Low As Reasonably Possible) adottato dal D.Lgs. 264/2006 per le analisi di rischio in galleria.

Con tutta evidenza il suddetto D.Lgs. si applica ad un campo completamente diverso dell'ingegneria stradale ma può offrire un valido riferimento dell'entità del rischio sociale che si può ritenere ragionevolmente ammissibile.

I limiti di accettabilità del rischio forniti dall'Allegato 3 al D.Lgs. 264/06 sono:

- Riferiti ad una singola canna di una galleria stradale, indipendentemente dalla sua lunghezza;
- Riferiti ai soli eventi "eccezionali" che portano ad avere 3 o più vittime.

Nel caso in esame non si è ritenuto corretto applicare le soglie del D.Lgs 264/06 alla singola sezione omogenea, che non costituisce una unità funzionale a se stante, ma si è ritenuto più opportuno definire delle soglie equivalenti a quelle del D.Lgs. 264/06 per unità di sviluppo della strada/galleria in modo da riportare le analisi ad un singolo km di estensione. Per fare ciò si è analizzata la distribuzione della lunghezza delle singole gallerie di lunghezza superiore a 500 m (a cui si applicano i limiti previsti dal D.Lgs. 264/06) presenti sulla rete autostradale italiana che è risultata mediamente pari a circa 1000 m. Le curve ALARP del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	Codice documento GE0046_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

D.Lgs. 264/06, riferite alla singola canna, possono essere pertanto, ai fini della presente analisi di rischio, applicabili ad 1 km di sviluppo di singola carreggiata stradale. Per quanto attiene alle soglie per gli eventi con numero di vittime inferiori a 3 si è proceduto con una estrapolazione lineare nel piano bi-logaritmico in cui le soglie di accettazione sono definite nel D.Lgs. 264/06. Le curve ALARP usate come riferimento nella presente analisi sono riportate in Figura 4.

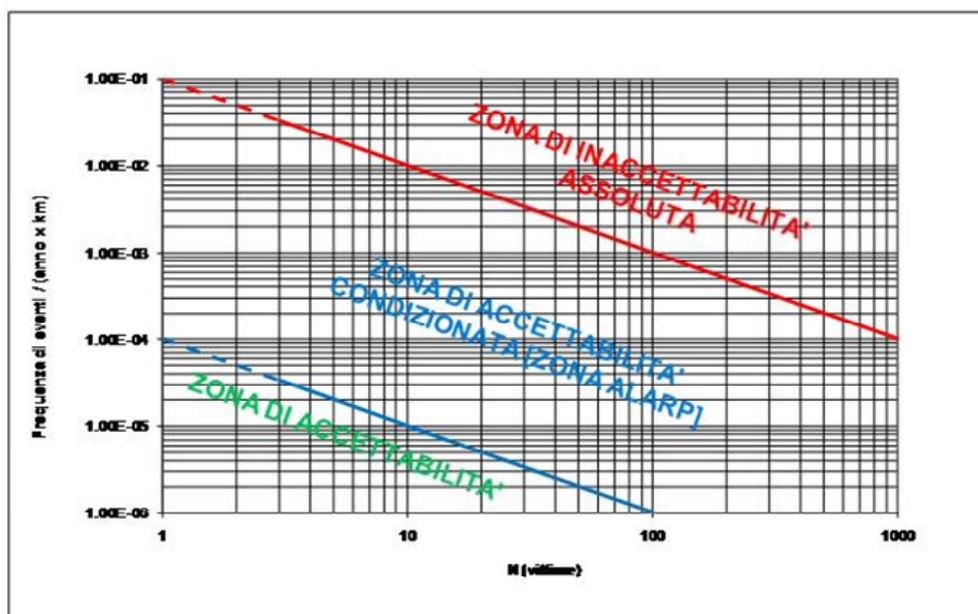


Figura 4: curve ALARP del D.Lgs. 264/06 convertite in termini di distribuzione degli incidenti mortali (anno x km di carreggiata)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

9 Bibliografia

- [1] NCHRP – Report 617 “Accident Modification Factors for Traffic Engineering and ITS Improvements”, Allegato G (2008).
- [2] Sito web “Crash Modification Factors Clearinghouse” di ricerca di CMF di letteratura : <http://www.cmfclearinghouse.org>.
- [3] AASHTO “Highway Safety Manual” (2010).
- [4] Salvisberg, U., Allenbach, R., Hubacher, M., Cavegn, M. & Siegrist, S. (2004), “Verkehrssicherheit in Autobahn- und Autostrassentunneln des Nationalstrassennetzes”, Report n. 51, Swiss office for accident prevention, UPI, Bern.
- [5] F. Fanfani “Modellazione dell'incidentalità in campo autostradale tramite Safety Performance Functions”, Tesi di Laurea – Facoltà di Ingegneria Università di Firenze, AA 2007-08.
- [6] L. Domenichini, A. Giaccherini, N. Di Volo, “la microsimulazione come strumento per l'individuazione di indicatori di sicurezza utilizzabili per la gestione del traffico nelle gallerie”, Strade & Autostrade, n. 1, 2005.
- [7] A. Giaccherini, “Determinazione di indicatori di sicurezza stradale con l'ausilio delle tecniche di microsimulazione del traffico veicolare”, Tesi di Dottorato di Ricerca, Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Ciclo XVIII.
- [8] CETU, Guide des dossiers de securité des tunnels routiers – Fascicule 4 : Les études spécifiques des dangers (ESD), Septembre 2003.
- [9] « Elements de Conclusions de la Reunion Informelle du Comité de Securite du Tunnel de Tend, 20/03/2008 » (Nizza).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Metodologia	<i>Codice documento</i> GE0046_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- [10] ANAS, “Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente”, Circolare n° 179431/2009.
- [11] Bung, Ernst Basler+Partner, Risikoanalyse zum Transport gefährlicher Guter durch die Tunnelkette der BAB A71 im Bereich des Thuriinger Walds, Schlussbericht vom 1 Dezember, 2000.
- [12] OECD/PIARC/EU, Transport of Dangerous Goods through road tunnel Quantitative Risk Assessment Model - version 3.6, Reference Manual, 1 March 2003.
- [13] AIPCR, Comitato Nazionale Italiano, XXVI Convegno Nazionale Stradale, Comitato Tecnico C1 “Infrastrutture stradali più sicure”, Fase I: I criteri, Quaderni AIPCR, Roma 27-30 ottobre 2010.