

# 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  <b>c.s.i.a.</b>                  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>  <i>Tipo di sistema</i>  <i>Raggruppamento di opere/attività</i>  <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>  <i>Titolo del documento</i></p>	<p>GENERALE                  TECNICO                  Analisi di rischio                  Generale                  Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">GE0054_F0</div>
---	--	---

CODICE	C G 3 4 0 0 P E X D G T C R 5 G 0 0 0 0 0 0 0 6 F 0
--------	---

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## INDICE

INDICE .....	3
Opera di attraversamento .....	5
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte .....	5
1 Introduzione – inquadramento del problema .....	5
2 Definizione della probabilità di sfondamento della barriera di sicurezza H4 per i margini interno ed esterno .....	6
2.1 Metodologia di analisi.....	6
2.2 Descrizione dei dati di input dello studio .....	6
2.2.1 Dati di traffico .....	6
2.2.2 Condizioni della pavimentazione.....	9
2.3 Energie di impatto .....	11
2.4 Probabilità di sfondamento della barriera.....	15
3 Frequenza di sfondamento sotto ipotesi di incidentalità e volumi di traffico .....	17
4 Livelli di contenimento necessari per un tempo di ritorno di 100 anni .....	19
5 Conclusioni e validazione dello studio .....	22
Appendice 1 Procedura per il calcolo dei tempi di asciugatura delle pavimentazioni.....	25



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	Codice documento GE0054_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

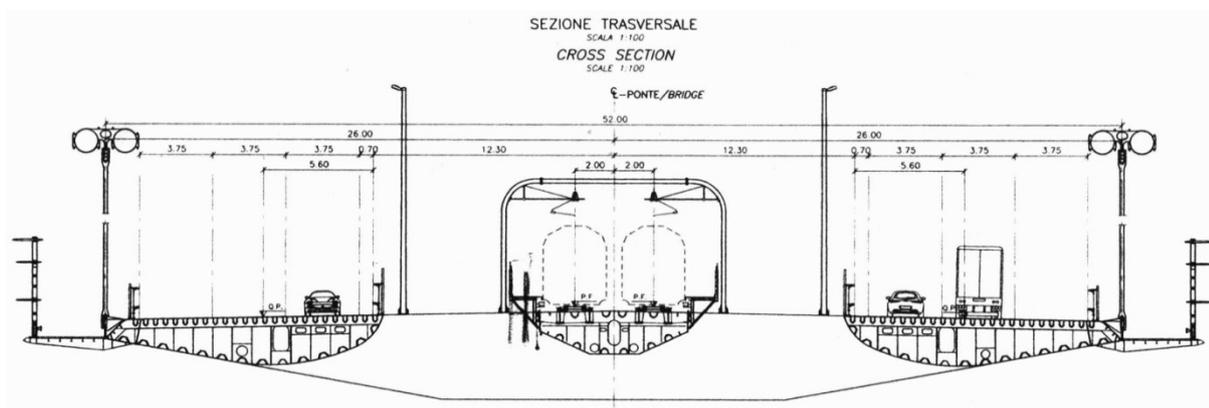
## Opera di attraversamento

# Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte

### 1 Introduzione – inquadramento del problema

La presente analisi è stata condotta per valutare quale sia la frequenza massima di eventi che possono arrivare a “sfondare” le barriere di sicurezza poste sul margine esterno e sul margine interno (quello verso la linea ferroviaria) (vedi Figura 1) ossia quegli eventi che risultano statisticamente caratterizzati da una energia di impatto superiore al livello di contenimento delle barriere di sicurezza previste in progetto.

L’attuale normativa che regola la progettazione, l’omologazione e l’impiego dei dispositivi di ritenuta stradali (D.M. 21.6.2004) non prevede alcun criterio di verifica della probabilità che una data classe di contenimento prevista dalla normativa stessa possa essere superata per effetto della distribuzione probabilistica degli eventi che possono accadere su una infrastruttura stradale.



**Figura 1. Geometria della sezione stradale**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 2 Definizione della probabilità di sfondamento della barriera di sicurezza H4 per i margini interno ed esterno

### 2.1 Metodologia di analisi

Obiettivo di questa parte dell'analisi è la valutazione della probabilità che un impatto contro le barriere di sicurezza possa risultare uno "sfondamento".

In questa analisi si considera che si avrà un possibile "sfondamento" in tutti i casi in cui dovesse risultare una energia di impatto superiore a quella prevista dalla norma UNI EN 1317-2 per la classe H4.

La procedura seguita rappresenta una estensione della procedura sviluppata per la valutazione della probabilità di interferenza tra il traffico stradale e quello sulla tratta ferroviaria ad alta velocità Milano-Bologna<sup>1</sup>.

Nei paragrafi seguenti sono sintetizzati i principali passaggi della procedura ed i risultati della applicazione della stessa, modificata in modo da determinare solo le condizioni di "sfondamento" dei dispositivi di ritenuta sui due margini per le due direzioni.

### 2.2 Descrizione dei dati di input dello studio

#### 2.2.1 Dati di traffico

I dati di traffico necessari per lo studio riguardano la composizione veicolare (classi veicolari e distribuzione del traffico nelle diverse classi), la distribuzione del traffico tra le varie corsie e la distribuzione delle velocità per ciascuna classe veicolare e per ciascuna corsia. Ove possibile l'analisi è stata condotta facendo riferimento a dati specifici forniti da COWI.

Per i parametri per i quali non si dispone di dati specifici si è fatto riferimento a dati di letteratura o a dati sperimentali acquisiti da rilievi su sezioni autostradali in esercizio.

- Classi veicolari

Al fine di consentire l'analisi di dettaglio dei singoli possibili eventi sono state definite 7 classi veicolari (C1 – C7) a cui sono state associate (v. Tabella 1) caratteristiche fisiche in termini di massa, carreggiata e altezza del baricentro. Per definire le suddette caratteristiche si è fatto

<sup>1</sup> L. Domenichini, F. La Torre, G. Giordano "Safety Analysis Of Multimodal Transportation Corridors" SIIV2004 II International Congress – New Technologies and Modeling Tools for Roads, Firenze 27-29 ottobre 2004

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte</b>	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

riferimento allo studio effettuato per l'analisi delle condizioni di interferenza tra l'autostrada A1 e la linea AV Milano-Bologna citato in precedenza (vedi nota 1).

I valori di massa attribuita alle diverse categorie veicolari sono stati assunti pari ai valori convenzionali adottati dalla norma UNI EN1317 per l'esecuzione delle prove di crash per la marcatura CE delle barriere di sicurezza o, per le categorie veicolari non considerate da questa, pari a valori mediati su dati operativi.

I veicoli delle tipologie C3 e C4 sono stati divisi in due sottoclassi ciascuno in quanto si tratta di mezzi che coprono un range di lunghezza molto ampio (7,5-10, i C3 e 8,5-12 i C4) e con una sovrapposizione.

**Tabella 1. Tipologie di veicoli e loro caratteristiche tecniche**

Tipo di veicolo	autovettura	Autocarri Leggeri (2 assi)		Autocarri Pesanti (3 assi)		Bus/ Autocarri Medi	Autoarticolati e Autotreni		
	C1	C2	C31	C32	C41	C42	C7	C5	C6
<b>Codice classe veicolare (per le successive analisi)</b>	C1	C2	C31	C32	C41	C42	C7	C5	C6
<b>Lunghezza rappresentativa della classe (m)</b>	<5	5-7,5	7,5-8,5	8,5-10	8,5-10	10-12	10-12	12-15	>15
<b>Massa (ton)</b>	1,5	6	13	13	16	16	13	26	38
<b>Altezza baricentro (m)</b>	0,53	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,9	1,9
<b>Carreggiata (m)</b>	1.5	2	2	2	2	2	2	2	2

Per quanto riguarda la composizione percentuale delle singole tipologie di veicolo pesante, si è fatto riferimento ai dati forniti da COWI<sup>2</sup>, supponendo che la mix sia uguale su entrambe le carreggiate. Aggregando la mix fornita da COWI (discretizzata in funzione della lunghezza dei veicoli) nelle 9 classi previste per lo studio, si è ottenuta la mix sintetizzata in Tabella 2.

**Tabella 2. Composizione della mix di traffico**

Tipologia di veicolo	% nella mix dei veicoli pesanti
<b>C2</b>	13,8
<b>C31</b>	3,8
<b>C32</b>	5,3
<b>C41</b>	5,3
<b>C42</b>	7,2
<b>C7</b>	7,2
<b>C5</b>	21,5
<b>C6</b>	35,9

<sup>2</sup> Cfr mail da Niels Peter Høj datata 5 ottobre 2010.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte		Codice documento GE0054_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

**Totale**

100

- Corsie

La sezione tipo stradale sul ponte è caratterizzata da 2 corsie per senso di marcia di larghezza pari a 3,75 m, la corsia di emergenza anch'essa di larghezza pari a 3,75 m ed una banchina in sinistra di larghezza pari a 0,70 m. In Tabella 3 è riportata la simbologia adottata per la caratterizzazione dello studio delle 4 corsie.

**Tabella 3. Corsie che compongono la sede stradale**

Carreggiata	Codice	Corsia
Sicilia > Calabria (destra)	MD	Marcia carreggiata destra
Sicilia > Calabria (destra)	SD	Sorpasso carreggiata destra
Calabria > Sicilia (sinistra)	SS	Sorpasso carreggiata sinistra
Calabria > Sicilia (sinistra)	MS	Marcia carreggiata sinistra

Non disponendo di dati specifici da cui si possa evincere la ripartizione per corsie del traffico delle diverse classi veicolari, le percentuali di distribuzione tra le corsie per ciascuna classe veicolare sono state ricavate da dati di traffico registrati sull'autostrada A14 a 2 corsie per senso di marcia soggetta a controllo della velocità con sistema TUTOR (Tabella 4). Tale spira è stata scelta in modo da rappresentare nel modo migliore possibile la futura circolazione sul ponte vincolata dalla presenza di un sistema di controllo delle infrazioni. Nelle analisi condotte non è stata operata una differenziazione tra le due carreggiate, ovvero si sono supposte condizioni di ripartizione veicolare marcia/sorpasso uguali per entrambe le carreggiate.

**Tabella 4. Ripartizione percentuale dei veicoli sulle corse**

Tipo di veicolo	C1	C2	C31	C32	C41	C42	C7	C5	C6
% Corsia di marcia	62,7	77,5	77,5	77,5	77,5	92,3	92,3	94,8	96,2
% Corsia di sorpasso	37,3	22,5	22,5	22,5	22,5	7,7	7,7	5,2	3,8

- Velocità

Anche per la velocità non si dispone di dati specifici e si sono pertanto adottate le curve di distribuzione delle velocità riscontrate dal rilievo effettuato nell'autostrada a 2 corsie per senso di marcia con sistema TUTOR di cui si è detto in precedenza. Per tener conto della limitazione di velocità che sarà applicata sul ponte (80 km/h) si sono adottate due distribuzioni di velocità (in marcia e in sorpasso) ottenute a partire da quelle rilevate per i veicoli leggeri traslate nel loro

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

valore medio verso il basso di 50 km/h in considerazione del fatto che il rilievo di velocità è fatto su una autostrada ove vige il limite di 130 km/h (Tabella 5).

Tali distribuzioni sono state adottate per tutte le classi veicolari in considerazione del limite imposto che è compatibile anche con le velocità massime ammesse per tutte le classi di Vp.

La distribuzione cumulata che si otterrebbe combinando le due distribuzioni di Tabella 5 risulta in linea con alcune curve di distribuzione reperibili in letteratura riferite ad una autostrada (tangenziale di Napoli) in cui vige il limite di 80 km/h ed in cui è presente un sistema automatico di controllo della velocità ma non differenziate per corsia.

**Tabella 5. Medie e deviazione standard sulle due corsie**

	Corsia di marcia	Corsia di sorpasso
<b>Velocità media</b>	68,0 km/h	77,3 km/h
<b>Deviazione standard</b>	6,11	8,36

- Distribuzione complessiva per tipologia di veicolo, corsia e classe di velocità

Una volta specificate le classi veicolari sono state calcolate le percentuali di ripartizione dei flussi veicolari, ovvero la probabilità che un veicolo pesante in transito nella sezione sia di una certa classe veicolare, proceda con una certa velocità e si trovi in una data corsia. In Tabella 6 è riportata, a titolo esemplificativo, la distribuzione probabilistica completa per una velocità di 75 km/h.

**Tabella 6. Distribuzione probabilistica esemplificativa dei volumi di traffico**

	Velocità 75 km/h							
	C2	C31	C32	C41	C42	C7	C5	C6
<b>Marcia in Destra</b>	4,67%	1,28%	1,79%	1,79%	2,90%	2,90%	8,89%	15,07%
<b>Sorpasso in Destra</b>	1,35%	0,37%	0,52%	0,52%	0,71%	0,71%	2,11%	3,52%
<b>Sorpasso in Sinistra</b>	1,35%	0,37%	0,52%	0,52%	0,71%	0,71%	2,11%	3,52%
<b>Marcia in Sinistra</b>	4,67%	1,28%	1,79%	1,79%	2,90%	2,90%	8,89%	15,07%

## 2.2.2 Condizioni della pavimentazione

Le analisi condotte sono state riferite a tre diversi scenari di condizioni della pavimentazione,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte</b>	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ovvero asciutta, bagnata e umida. L'elemento caratterizzante ciascuno scenario è l'aderenza trasversale disponibile, che, a parità di velocità, presenta valori più bassi in condizioni di bagnato con velo idrico superficiale (in presenza di pioggia) rispetto alle condizioni di asciutto.

Le condizioni di pavimentazione "umida" si hanno al termine dell'evento piovoso per una durata che dipende dalle condizioni climatiche e che è stata stimata nel 17 % del tempo in cui la pavimentazione è genericamente classificabile come "bagnata" (cioè quando non si ha una condizione di pavimentazione asciutta), come illustrato in dettaglio nella Appendice 1 alle presenti relazioni.

I valori di aderenza trasversale massima impegnabile sul bagnato in assenza di frenata sono stati assunti pari a quelli dati dal DM 5.11.2001 per l'aderenza longitudinale a ruote bloccate. Per elevati angoli di deriva (al limite di scorrimento) l'aderenza trasversale risulta infatti sostanzialmente pari a quella longitudinale a ruote bloccate, nelle medesime condizioni di velocità e di velo idrico sulla pavimentazione.

L'aderenza sull'asciutto è stata definita a partire da prove sperimentali<sup>3</sup> da cui si è osservato che per velocità di scorrimento tra pneumatico e pavimentazione di 80 km/h o superiore l'aderenza vale 0,7 – 0,8. Per velocità di scorrimento via via decrescenti l'aderenza aumenta fino a raggiungere un picco di 1,0 – 1,1 per velocità di scorrimento di circa 16 km/h. I valori di aderenza usati nell'analisi sono riportati in Tabella 7.

Per le condizioni di pavimentazione "umida" una sperimentazione condotta dall'Università di Firenze ha mostrato che questa si può schematizzare assumendo che per il 35% del tempo l'aderenza resti quella delle condizioni di pavimentazione bagnata e per il restante 65% si abbia una aderenza media tra quella di pavimentazione bagnata e quella di pavimentazione asciutta.

A valori di aderenza utilizzati nelle analisi nelle tre diverse condizioni sono sintetizzati in Tabella 7.

<sup>3</sup> D. Vangi, V. Rivano "Ricostruzione della dinamica degli incidenti stradali o l'ambito giuridico, la strada, il conducente e il veicolo". FUP 2011

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

**Tabella 7. Valori di aderenza utilizzati per condizione di pavimentazione asciutta, umida e bagnata**

Velocità (km/h)	Aderenza		
	Asciutto	Umido	Bagnato
35	0,966	0,773	0,580
45	0,938	0,742	0,547
55	0,913	0,714	0,516
65	0,885	0,685	0,485
75	0,855	0,655	0,455
85	0,828	0,630	0,433
90	0,815	0,621	0,427
95	0,803	0,611	0,420
105	0,778	0,592	0,407
115	0,753	0,566	0,380
125	0,730	0,543	0,355
135	0,710	0,528	0,345
145	0,700	0,520	0,340
155	0,700	0,520	0,340
165	0,700	0,520	0,340

Per quanto attiene alla percentuale di incidenti che avvengono in condizioni di pavimentazione non asciutta (bagnata ed umida) una analisi di dettaglio condotta su alcune tratte della rete autostradale ha mostrato che questa è nettamente superiore alla percentuale di tempo in cui la pavimentazione risulta effettivamente “non asciutta” e può essere stimata nel 30% del numero totale di incidenti.

## 2.3 Energie di impatto

Un elemento necessario allo sviluppo delle analisi di tipo probabilistico del possibile sfondamento della barriera di sicurezza, è rappresentato dalla descrizione del comportamento dell'elemento di ritenuta a seguito dell'impatto di un veicolo in fase di svio. Si tratta di valutare, in funzione dell'energia cinetica trasmessa all'impatto dal veicolo alla barriera, le conseguenze che quest'ultima riporta, ovvero lo sfondamento o la sola deformazione.

La dinamica incidentale a cui si farà da ora in avanti riferimento è la seguente: si considera un

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte</b>	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

generico veicolo che transita con velocità  $V_i$  (velocità iniziale), esce dalla corsia in cui sta transitando seguendo una traiettoria parabolica ed urta contro la barriera posta nello spartitraffico o nel margine laterale con un certo angolo d'impatto  $\alpha$  e con una velocità  $V_f$  (velocità finale).

Il diagramma di flusso che segue riporta una schematizzazione degli step seguiti nel calcolo, a cui segue una loro descrizione.



**Figura 2. Diagramma di flusso della procedura per il calcolo della deformazione/sfondamento del dispositivo di ritenuta**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte</b>	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- **Angolo di impatto del veicolo**

L'angolo con cui il veicolo impatta contro la barriera è stato calcolato ipotizzando una traiettoria di svio parabolica, con un raggio R definito considerando la massima curvatura possibile (raggio minimo) limitata da:

- L'aderenza disponibile al di sopra della quale il veicolo inizia a slittare (equilibrio delle forze trasversali);
- Il ribaltamento del veicolo (equilibrio dei momenti).

Tale raggio è stato determinato secondo la procedura descritta nel documento nella nota 1 a pagina 6.

Da questo è anche presa l'equazione per il calcolo dell'angolo di impatto ( $\alpha$ ) che risulta :

$$\alpha = \arctan \left( \sqrt{\frac{2d}{R}} \right)$$

dove:

- d è la distanza tra il punto dove il veicolo inizia a divergere dalla sua traiettoria rettilinea e la barriera;
  - R è il raggio di curvatura nel tratto dove il veicolo inizia a divergere dall'allineamento stradale.
- **Caratteristiche del veicolo**  
Il veicolo è stato caratterizzato secondo quanto visto in precedenza per le classi veicolari di traffico (Tabella 1). Inoltre per il successivo calcolo delle dissipazioni è stata anche introdotta la distinzione tra veicoli leggeri (C1) e altre tipologie di veicoli pesanti (C2, C31, C32, C41, C42, C7, C5, C6):
    - il coefficiente aerodinamico (Cx) (0,35 per i veicoli leggeri e 0,65 per i veicoli pesanti);
    - la superficie resistente al moto (S) (2,1 per i veicoli leggeri e 5,14 per i veicoli pesanti);
    - il fattore di resistenza interna del motore del veicolo (k) (0,007 per i veicoli leggeri e 0,01 per i veicoli pesanti).

- **Energia di impatto teorica**

L'energia di impatto teorica è definita come l'energia cinetica che sarebbe posseduta del

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

mezzo all'atto dell'impatto se questo impattasse alla velocità di svio (in assenza di dissipazioni) calcolata però con riferimento alla sola componente di velocità ortogonale alle barriere ed è data dall'espressione:

$$ET = \frac{1}{2} * M * (v_i * \sin \alpha)^2$$

dove:

- ET= energia d'impatto teorica (kJ);
  - M = massa del veicolo (ton);
  - $v_i$  = velocità d'impatto (m/s) assunta pari alla velocità iniziale del veicolo in svio da una corsia;
  - $\alpha$  = angolo d'impatto.
- **Dissipazioni**  
 Le dissipazioni dell'energia cinetica posseduta dal veicolo, che intercorrono tra il momento dello svio ed il momento d'impatto contro il dispositivo, sono di tre tipi:
    - Energia dissipata per le forze di contatto che si esercitano tra superficie pavimentata e pneumatico del veicolo;
    - Energia dissipata per effetto della resistenza aerodinamica offerta dal veicolo;
    - Energia dissipata internamente al motore del veicolo.
 Le tre quantità sono state stimate adottando la procedura descritta con i parametri di Cx, S e K indicati sopra riferiti al citato studio "Safety analysis of multimodal transportation corridors" di Domenichini, La Torre, Giordano. Per effetto di queste dissipazioni si ha una riduzione di energia rispetto a quella teorica del 3-4%.
  - **Energia di impatto reale**  
 È rappresentata dall'energia di impatto teorica ridotta per tener conto della riduzione di velocità connessa con l'energia dissipata prima dell'urto.  
 L'applicazione della suddetta procedura a tutte le tipologie di veicolo considerate nel presente studio porta ai risultati esemplificati in Tabella 8 per un veicolo di tipologia C1, in condizioni di pavimentazione asciutta, contro il margine interno. Per le sottoclassi veicolari C5 e C6 relative ad autoarticolati, è stato applicato il coefficiente di riduzione dell'energia d'impatto pari a 1,27 per ricondursi ad "autocarro equivalente" e poter quindi confrontare i diversi valori di energia di impatto dei diversi tipi di mezzi.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

**Tabella 8. Esempio di calcolo delle energie di impatto**

	Veicolo C1													
	35 km/h	45 km/h	55 km/h	65 km/h	75 km/h	85 km/h	95 km/h	105 km/h	115 km/h	125 km/h	135 km/h	145 km/h	155 km/h	165 km/h
Angolo svio c.marcia (rad)	0,84	0,71	0,61	0,53	0,46	0,41	0,36	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20
Angolo svio c.sorpasso (rad)	0,62	0,50	0,42	0,35	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
R slittamento (m)	10	17	26	38	52	69	89	112	138	169	202	236	270	306
R ribaltamento (m)	7	11	17	24	31	40	50	61	74	87	101	117	134	151
ET reale marcia (kJ)	36	47	54	59	62	63	63	63	62	61	60	59	60	60
ET reale sorpasso (kJ)	23	26	28	29	29	28	28	27	27	26	25	25	25	25

- Deformazione/Sfondamento del dispositivo

Nota l'energia di impatto reale, è stato possibile confrontarla con il massimo livello contenitivo offerto dal dispositivo di classe H4 (572 kJ per urto con autocarro, come da UNI EN 1317-1: 2000).

Per ogni corsia, per ogni tipologia veicolare e per ogni intervallo di velocità, è stato verificato se l'energia reale d'impatto avesse superato i 572 kJ, cioè fosse da ritenere possibile uno sfondamento del dispositivo.

## 2.4 Probabilità di sfondamento della barriera

La probabilità con cui avviene lo sfondamento della barriera rappresenta la probabilità con cui un veicolo in svio che vada ad impattare contro una barriera risulti dotato di una energia di impatto superiore al livello di contenimento richiesto per la classe H4.

Dalla analisi si è osservato che le autovetture non arrivano mai a superare l'energia necessaria per lo sfondamento dell'H4. In Tabella 9 sono riportate le probabilità di sfondamento con riferimento ad un chilometro di infrastruttura, rispettivamente in condizioni di pavimentazione asciutta, bagnata e umida, per un impatto di veicoli pesanti (tipi C2-C7).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

**Tabella 9: Probabilità di sfondamento per un impatto di un veicolo pesante (tipi C2-C7) contro le barriere**

	Probabilità di sfondamento			
	Asciutto	Bagnato	Umido	Complessivo
<b>Margine esterno per direzione</b>	7,17E-02	2,73E-02	3,38E-03	1,02E-01
<b>Margine interno per direzione</b>	7,37E-02	2,81E-02	3,48E-03	1,05E-01
<b>Complessiva infrastruttura</b>	2,91E-01	1,11E-01	1,37E-02	4,15E-01

Si ritiene comunque utile rappresentare in Tabella 10 anche i risultati espressi in termini di percentuale di possibile sfondamento della barriera per un impatto di veicolo generico. Dato che la percentuale dei veicoli pesanti è variabile durante il periodo di analisi, si è scelto di fare riferimento al valore previsto all'anno 2048 (24,5%).

**Tabella 10: Probabilità di sfondamento per un impatto qualsiasi contro le barriere**

	Probabilità di sfondamento			
	Asciutto	Bagnato	Umido	Complessivo
<b>Margine esterno per direzione</b>	1,76E-02	6,70E-03	8,28E-04	2,51E-02
<b>Margine interno per direzione</b>	1,81E-02	6,89E-03	8,52E-04	2,58E-02
<b>Complessiva infrastruttura</b>	7,13E-02	2,72E-02	3,36E-03	1,02E-01

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### 3 Frequenza di sfondamento sotto ipotesi di incidentalità e volumi di traffico

Per passare dalla probabilità di sfondamento, dato un impatto di un veicolo pesante contro la barriera, alla frequenza attesa di sfondamenti per anno (e quindi al suo reciproco, il tempo di ritorno di un possibile evento che comporta lo sfondamento delle barriere) è necessario definire il numero di incidenti con veicoli pesanti che interessano le barriere di sicurezza che ci si può attendere sull'opera in un anno.

Per questa parte dell'analisi si sono adottati i risultati dell'analisi effettuata per l'Operational Risk Analysis (ORA)<sup>4</sup>.

La frequenza attesa di urti di veicoli pesanti contro le barriere in un anno è data da:

$$frequenza = P * Tasso * 365 * TGM_{bidir, vp} * Ltot * Pb$$

- P = probabilità di sfondamento, da Tabella 9
- Tasso di incidentalità:  $0,13 \times 10^{-6} \div 0,31 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km;
- TGM bidirezionale relativo ai soli veicoli pesanti, mediato sul periodo 2018 ÷ 2048 pari a 4721 veicoli/giorno<sup>5</sup>. Il valore è stato estrapolato dal traffico giornaliero del giorno feriale medio, applicando un coefficiente di correzione pari a 310 / 365. La scelta di procedere direttamente con il TGM dei veicoli pesanti e non il TGM complessivo moltiplicato per la percentuale di veicoli pesanti, come è prassi in questo tipo di analisi, è dovuta alla variabilità di tale percentuale all'interno dell'orizzonte temporale analizzato;
- Pb = Percentuale complessiva di urti contro le barriere di sicurezza (margine destro + margine sinistro) sul totale degli incidenti: 18%.
- Ltot = Lunghezza tratta = 3,5 km

La percentuale di urti che interessano le barriere di sicurezza rispetto al totale degli incidenti è stata stimata a partire dai dati relativi alla autostrada A12 nel tratto Livorno-Rosignano (tratta adottata come riferimento anche per la definizione del tasso di incidentalità) estraendo dal

<sup>4</sup> Cfr. "Stima dell'incidentalità attesa e della gravità delle conseguenze - Applicativo", Cod. Doc. CG3400-P-EX-D-G-TC-R5-G0-00-00-00-02-A.

<sup>5</sup> "Analisi delle relazioni di mobilità all'interno del Sistema Ponte", cod. CG3400-P-DX-D-G-TC-M7-G0-00-00-00-05-B

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	Codice documento GE0054_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

database solo i sinistri che hanno comportato danni alle barriere e quelli classificati come tipologie “urto contro sicurvia”. Da questa analisi si è desunto che tale percentuale è di circa il 18% ma non risulta possibile distinguere gli urti contro il margine destro rispetto agli urti contro il margine sinistro<sup>6</sup>.

In Tabella 11 e in Tabella 12 sono riportati i risultati dell’analisi espressi in termini di frequenza di sfondamento e tempo di ritorno nei due scenari con tasso di incidentalità di  $0,13 \times 10^{-6}$  e di  $0,31 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km da cui si evince che sono da attendersi tempi di ritorno di 7-17 anni.

**Tabella 11. Frequenza di sfondamento con tasso di incidentalità  $0,13 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km**

	Frequenza di sfondamento				Tempo di ritorno complessivo (anni)
	Asciutto	Bagnato	Umido	Complessivo	
<b>Margine esterno per direzione</b>	1.01E-02	3.86E-03	4.77E-04	1.44E-02	69
<b>Margine interno per direzione</b>	1.04E-02	3.97E-03	4.91E-04	1.49E-02	67
<b>Complessiva infrastruttura</b>	4.10E-02	1.57E-02	1.94E-03	5.86E-02	17

**Tabella 12. Frequenza di sfondamento con tasso di incidentalità  $0,31 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km**

	Frequenza di sfondamento				Tempo di ritorno complessivo (anni)
	Asciutto	Bagnato	Umido	Complessivo	
<b>Margine esterno per direzione</b>	2.41E-02	9.20E-03	1.14E-03	3.45E-02	29
<b>Margine interno per direzione</b>	2.48E-02	9.47E-03	1.17E-03	3.55E-02	28
<b>Complessiva infrastruttura</b>	9.79E-02	3.73E-02	4.61E-03	1.40E-01	7

<sup>6</sup> I risultati dello studio “A. Marchionna “Studio per l’individuazione dello “Spazio di Lavoro Probabile” delle barriere di sicurezza progettate e omologate o in attesa di omologazione da parte di Autostrade” riferito all’intera rete in gestione di Autostrade per l’Italia mostrano comunque che non vi è differenza apprezzabile tra gli urti che interessano i due margini (49,1% hanno interessato il margine sinistro e 51,9% il destro).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 4 Livelli di contenimento necessari per un tempo di ritorno di 100 anni

Con la stessa metodologia è stato determinato il contenimento minimo che dovrebbero offrire le barriere di sicurezza per garantire un tempo di ritorno di 100 anni. In Tabella 13 e in Tabella 14 sono mostrati i valori ottenuti applicando un tasso di incidentalità rispettivamente di  $0,13 \times 10^{-6}$  e  $0,31 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km

**Tabella 13. Contenimento minimo richiesto con tasso di incidentalità  $0,13 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km**

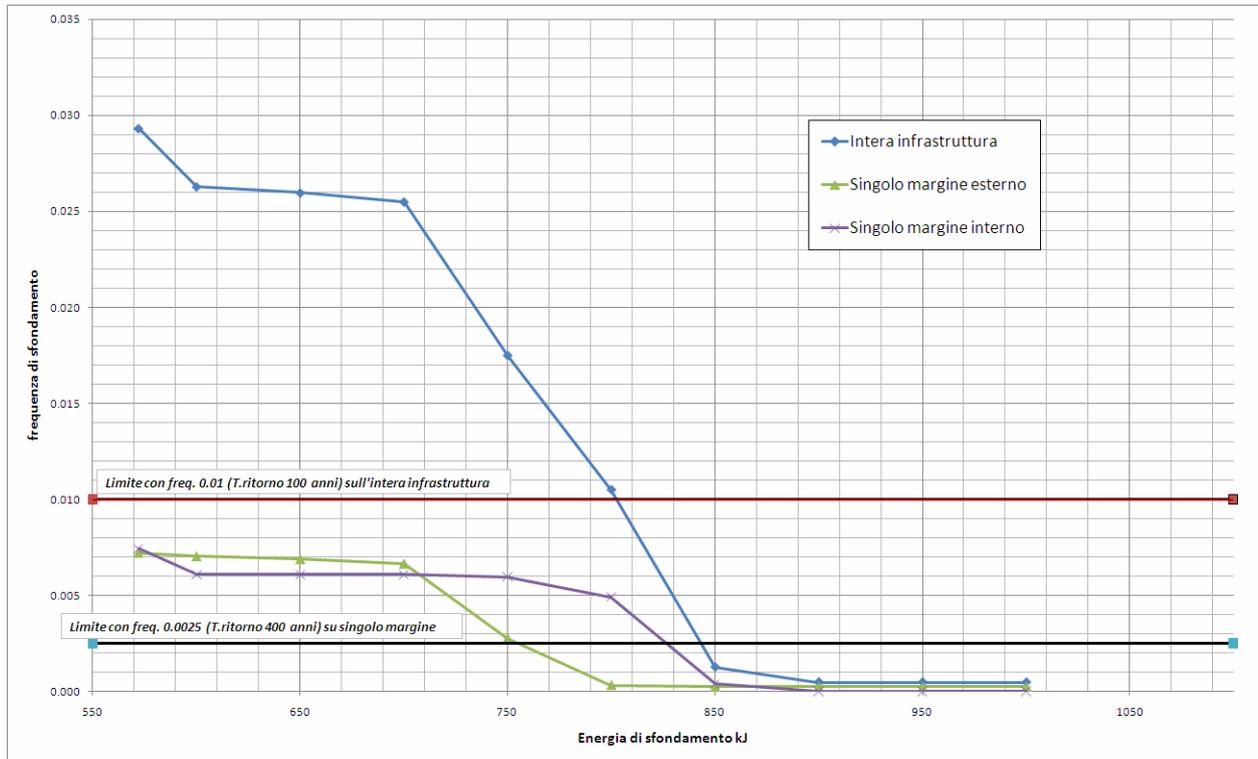
	Tempo di ritorno (anni)	Contenimento minimo (kJ)
Singolo margine interno	400	827
Singolo margine esterno	400	756
Intera infrastruttura	100	803

**Tabella 14. Contenimento minimo richiesto con tasso di incidentalità  $0,31 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km**

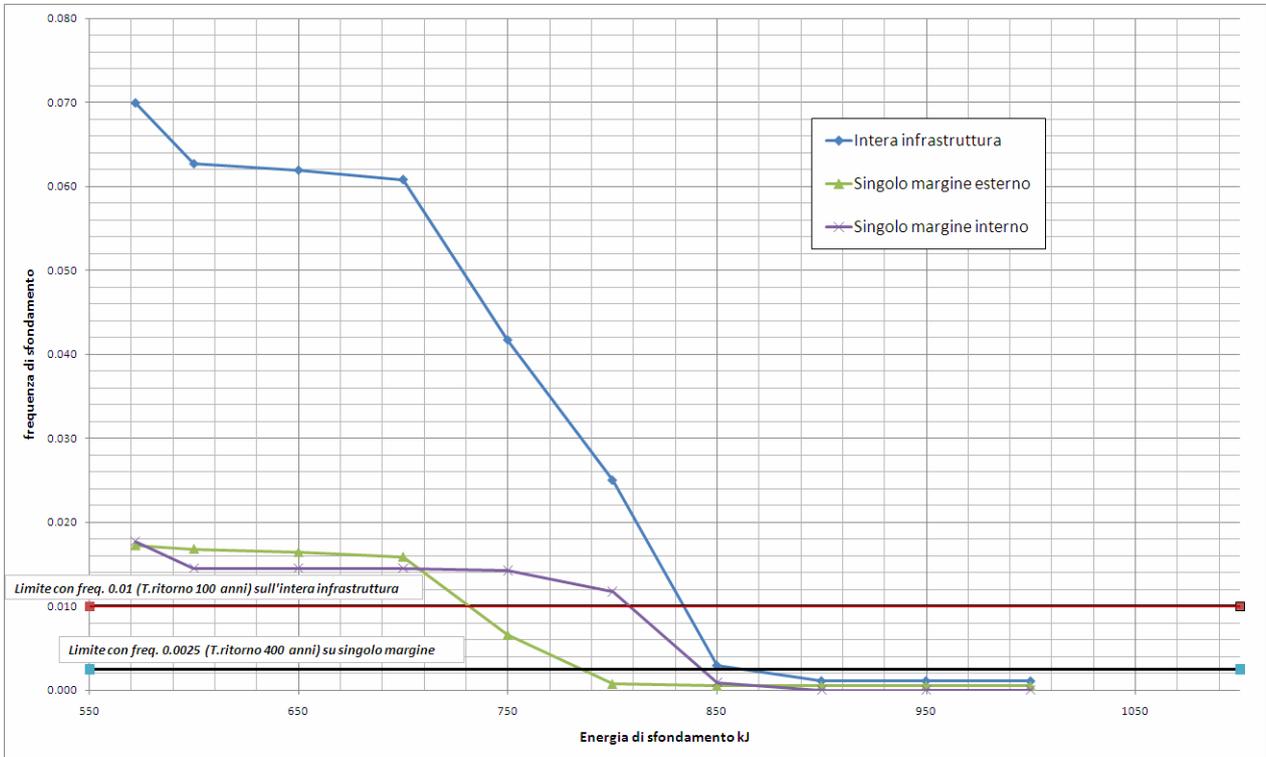
	Tempo di ritorno (anni)	Contenimento minimo (kJ)
Singolo margine interno	400	834
Singolo margine esterno	400	785
Intera infrastruttura	100	834

In Figura 3 e Figura 4 sono riportate graficamente le coppie Energia/Frequenza di sfondamento, con i livelli a cui il tempo di ritorno arriva a 100 anni per l'intera opera e 400 per ogni singolo margine, per entrambi gli scenari di tasso di incidentalità.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	Codice documento GE0054_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	



**Figura 3. Diagramma Energia di sfondamento – frequenza di sfondamento con tasso di incidentalità  $0,13 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km**



**Figura 4. Diagramma Energia di sfondamento – frequenza di sfondamento con tasso di incidentalità  $0,31 \times 10^{-6}$  incidenti / veicolo-km**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 5 Conclusioni e validazione dello studio

Le analisi effettuate hanno evidenziato che il tempo di ritorno di un possibile evento che porti allo sfondamento delle barriere di sicurezza di classe H4 previste in progetto per il Ponte può essere stimato in 6-15 anni e che per avere un tempo di ritorno complessivo di 100 anni le barriere dovrebbero essere in grado di contenere un urto di 810-840 kJ. Si precisa al riguardo che questi valori rappresentano l'energia di impatto equivalente di un autocarro.

In considerazione del fatto che il Ponte è un'opera in rettilineo progettata con elevatissimi standard di sicurezza appare più verosimile che l'incidentalità si attesti sui valori minimi di incidentalità considerati (caratteristici di una autostrada di nuova concezione) piuttosto che sui valori (medi) che i modelli previsionali propongono, che tengono conto di una pluralità di situazioni differenziate per incidentalità. Appare pertanto sufficientemente cautelativo considerare come urto di progetto per un tempo di ritorno di 100 anni una energia pari al valore minimo del range sopra definito.

Una analisi di sensibilità effettuata alle diverse ipotesi di controllo della circolazione (limiti di velocità e divieto di sorpasso per i mezzi pesanti) ha mostrato che questo tipo di interventi sono sostanzialmente inefficaci in quanto al ridursi della velocità aumenta l'angolo di impatto e, a parità di posizione in piattaforma, l'energia di impatto rimane sostanzialmente invariata.

Si è inoltre valutata la sensibilità dei risultati ottenuti ad eventuali imprecisioni degli studi di traffico presi a riferimento sulla valutazione della %VP presenti nella mix di traffico, non riscontrando una variazione dei risultati degna di nota.

Occorre infine rammentare che le analisi sono state condotte combinando tutte le ipotesi più cautelative che, si ricorda, possono essere così sintetizzate:

- tutti gli eventi avvengono alla velocità con cui i veicoli viaggiano sull'asse, senza applicare alcuna azione frenante;
- tutti gli impatti avvengono con il massimo angolo possibile al limite di scorrimento o di ribaltamento;
- tutti i veicoli viaggiano carichi con una massa corrispondente con quella assunta a riferimento nelle prove di crash ai sensi delle norme UNI EN 1317;
- la capacità di contenimento delle barriere è esattamente pari al minimo richiesto dalla norma UNI EN 1317-2 per la classe H4.

Ad oggi non ci sono elementi quantitativi per valutare l'effetto di tali ipotesi cautelative. Tali ipotesi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza sul Ponte</b>	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

potrebbero essere calibrate solo a fronte di una analisi dell'effettiva numerosità di eventi di sfondamento di barriere H4 lungo la rete autostradale italiana.

Per avere un termine di paragone sono stati fatti confronti con altri studi reperibili in letteratura ed in particolare:

- allo studio teorico-sperimentale condotto da A. Marchionna per la definizione dell'urto "abituale" ai sensi del D.M. 21.6.2004 sulla rete autostradale (rapporto interno ASPI – Autostrade per l'Italia, 2005);
- allo studio sperimentale condotto da A. Montella e M. Perneti "In-depth Investigation of Run-off-the-Road Crashes on the Motorway Naples-Candela" (pubblicato in Proc. IV Intern. Symposium on Highway Geometric Design, 2010).

Il primo studio mostra che la probabilità di avere un impatto con energia superiore a quella contenuta dalla H4 è stimabile nel 7.5% del totale dei sinistri che coinvolgono le barriere (inclusi quelli con soli veicoli leggeri). Considerando i dati di input definiti nel paragrafo 3 della presente relazione e con riferimento a tale %, la frequenza di sfondamenti può essere stimata in 0.04-0.09 eventi/anni corrispondenti ad un tempo di ritorno di 11-25 anni. Sostanzialmente questo studio porta a tempi di ritorno circa doppi rispetto a quelli stimati per il Ponte ma sostanzialmente dello stesso ordine di grandezza ed ancora ben lontani dai 100 anni richiesti come requisito di progetto.

Il confronto con lo studio sperimentale è più complesso in quanto non sono noti i dati relativi all'esposizione (estensione e traffico) della tratta in cui è stato condotto lo studio né l'esatta tipologia di barriere presenti nella strada in esame. Assimilando a barriere di classe H4 le barriere denominate da spartitraffico New Jersey o aventi altezza da 120 cm e quelle da bordo ponte New Jersey metalliche, si desume che su 11 incidenti con veicoli pesanti si è osservato un solo sfondamento (9% degli urti con coinvolgimento di mezzi pesanti) e che su 137 urti con solo coinvolgimenti di veicoli leggeri si sono osservati 3 sfondamenti di barriera (2% degli urti con coinvolgimenti di veicoli leggeri). Come si può notare la base campionaria, in particolare per gli urti con veicoli pesanti, è talmente ridotta da non consentire valutazioni significative (sarebbe sufficiente avere uno sfondamento al primo evento con veicolo pesante successivo all'analisi per passare dal 9% al 17% raddoppiando la probabilità di sfondamento). Per tener conto della ridotta base campionaria si è fatto riferimento alle tecniche proprie della "survival analysis" che consente di stabilire che la probabilità di sfondamento (P), sulla base dei dati analizzati da Montella e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Pernetti, è

$$P \leq \left(\frac{2}{12}\right) \cdot \%VP + \left(\frac{4}{138}\right) \cdot (1 - \%VP)$$

Da cui, considerando la percentuale di VP del 30% ed il numero di incidenti attesi nella tratta in esame, determinati come illustrato nel paragrafo 3 della presente relazione, si arriverebbe a tempi di ritorno  $\geq 12-26$  anni, sostanzialmente in linea con gli ordini di grandezza determinati per via analitica per lo specifica infrastruttura in esame.

Sarebbe comunque importante, sotto quest'ultimo punto di vista, effettuare una analisi di incidentalità più approfondita ed estesa, che consentirebbe, tra l'altro, di calibrare il metodo di calcolo messo a punto, riducendo le cautele adottate nelle valutazioni, introdotte necessariamente per mancanza di indicazioni specifiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## Appendice 1

### Procedura per il calcolo dei tempi di asciugatura delle pavimentazioni

#### 1. Calcolo dei tempi di evaporazione

Per valutare la durata del periodo in cui, terminato l'evento piovoso, la pavimentazione rimane umida si è fatto ricorso al calcolo del tempo di evaporazione di un velo idrico su una data superficie. Per il calcolo dell'evaporazione [in mm/giorno] è stata utilizzata la formula di Penman

$$\lambda ET = \frac{\Delta R_n + \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{(e_s + e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma}$$

dove:

- $\lambda$ : calore latente di evaporazione, energia richiesta per unità di massa di acqua evaporata [MJ kg<sup>-1</sup>]
- ET: evaporazione di riferimento [mm day<sup>-1</sup>],
- $\Delta$ : pendenza della curva di pressione di vapore [kPa °C<sup>-1</sup>],
- $R_n$ : radiazione netta sulla superficie [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>],
- $\rho_a$ : densità media dell'aria a pressione costante [kg m<sup>-3</sup>],
- $c_p$ : calore specifico dell'aria [J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>],
- $e_s$ : pressione di vapore di saturazione [kPa],
- $e_a$ : pressione di vapore effettiva [kPa],
- $r_a$ : resistenza aerodinamica [s m<sup>-1</sup>],
- $\gamma$ : costante psicrometrica [kPa °C<sup>-1</sup>].

Il calcolo delle quantità è stato fatto mediante le indicazioni della FAO che sono state predisposte per essere utilizzate per il calcolo dell'evapotraspirazione con la formula di Penman-Monteith:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte	Codice documento GE0054_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{(e_s + e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

che non è altro che la formula di Penman integrata con il termini seguenti:

- G flusso di calore nel terreno [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>]
- r<sub>s</sub> resistenza della superficie [s m<sup>-1</sup>]

Per utilizzare la procedura della FAO e quindi calcolare le grandezze che intervengono nella formula si sono utilizzati gli input contenuti in Tabella 15 e riferiti alla stazione meteo di Pisa

**Tabella 15 Dati di input per il calcolo dell'evaporazione**

Latitudine
Altitudine
Calore latente di evaporazione (energia richiesta per unità di massa d'acqua vaporizzata)
Pressione di riferimento
Temperatura massima
Temperatura minima
Umidità relativa
Velocità del vento a 2 m d'altezza
Ore di irraggiamento giornaliero
Radiazione solare terrestre giornaliera
Lunghezza del giorno
Altezza della coltura
Resistività del terreno

## 2. Calcolo della resistenza aerodinamica della pavimentazione

Per il calcolo della resistenza aerodinamica nel caso di una pavimentazione è stata seguita una procedura analoga a quella utilizzata nella procedura FAO per la definizione dell'evapotraspirazione di riferimento caratteristica della coltura erbosa riportata in Figura 5.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
Probabilità di sfondamento delle barrere di sicurezza sul Ponte	Codice documento GE0054_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

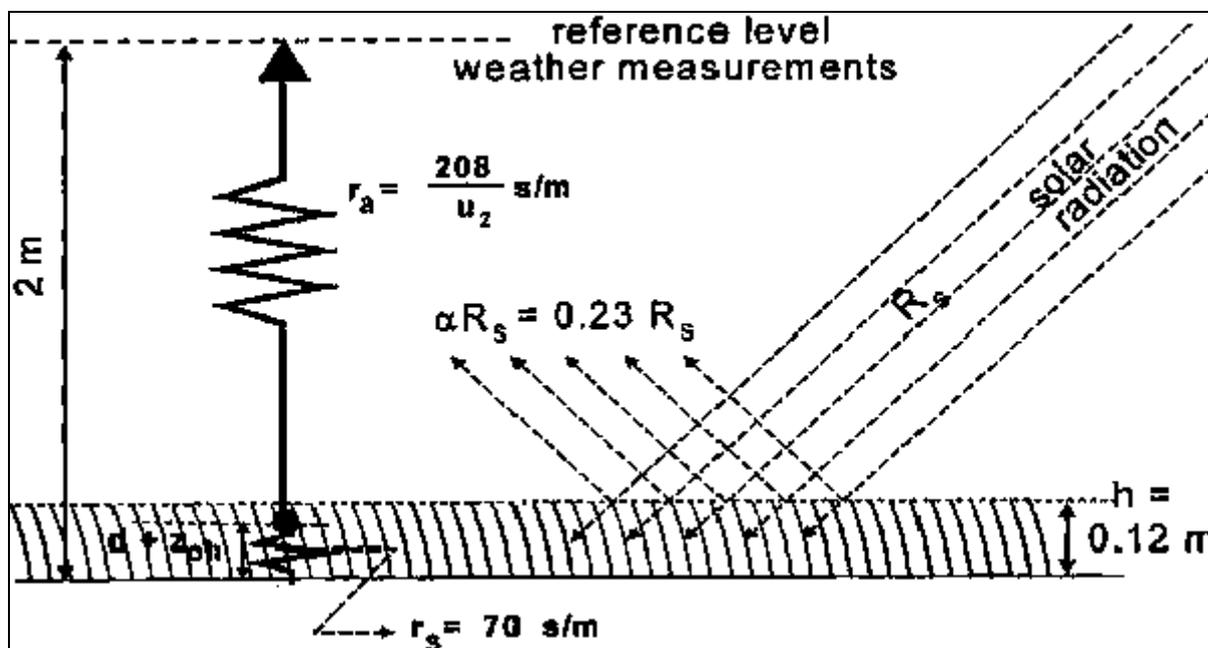


Figura 5 Coltre erbosa per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento

La formula utilizzata per il calcolo della resistenza aerodinamica dello strato di erba è la seguente:

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{k^2 \cdot u_z}$$

dove:

- $r_a$ : resistenza aerodinamica [ $s \, m^{-1}$ ],
- $z_m$ : altezza di misura del vento [m],
- $z_h$ : altezza di misura dell'umidità [m],
- $d$ : altezza del piano di riferimento [m],
- $z_{om}$ : ruvidezza che governa il trasferimento [m],
- $z_{oh}$ : ruvidezza che governa il trasferimento di calore e vapore [m],
- $k$ : costante di Karman's, 0.41,
- $u_z$ : velocità del vento a quota  $z$  [ $m \, s^{-1}$ ].

Per gran parte delle colture l'altezza del piano di riferimento zero  $d$  [m] e la ruvidezza che governa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>Probabilità di sfondamento delle barrere di sicurezza sul Ponte</b>	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

il trasferimento  $z_{om}$  [m], può essere calcolata a partire dell'altezza della coltura  $h$  [m] con le seguenti equazioni:

$$d = 2/3 h$$

$$z_{om} = 0.123 h$$

La ruvidezza che governa il trasferimento di calore e vapore,  $z_{oh}$  [m], può essere approssimata con:

$$z_{oh} = 0.1 z_{om}$$

Assumendo un'altezza costante della coltura di 0.12 m ed un'altezza standard per la velocità del vento, la temperatura e l'umidità di 2 m ( $z_m = z_h = 2$  m), la resistenza aerodinamica  $r_a$  [ $s\ m^{-1}$ ] per la superficie di riferimento in erba diventa:

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{2 - \frac{2}{3 \cdot (0.12)}}{0.123 \cdot (0.12)}\right) \cdot \ln\left(\frac{2 - \frac{2}{3 \cdot (0.12)}}{(0.1) \cdot 0.123 \cdot (0.12)}\right)}{0.41^2 \cdot u_z} = \frac{208}{u_z}$$

dove  $u_z$  è la velocità del vento [ $m\ s^{-1}$ ] a 2 m di altezza.

Da tale configurazione è stata calcolata la resistenza aerodinamica di una pavimentazione in conglomerato bituminoso assumendo, in sostituzione dell'altezza della coltura, il valore della macrorugosità di una pavimentazione drenante (Mean Profile Depth - MPD) pari ad 1 mm.

La resistenza aerodinamica  $r_a$  per la superficie della pavimentazione diventa:

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{2 - \frac{2}{3 \cdot (0.001)}}{0.123 \cdot (0.001)}\right) \cdot \ln\left(\frac{2 - \frac{2}{3 \cdot (0.001)}}{(0.1) \cdot 0.123 \cdot (0.001)}\right)}{0.41^2 \cdot u_z} = \frac{692}{u_z}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### 3. Calcolo dei tempi di pioggia e di asciugatura nella stazione di riferimento (Firenze Ximeniano)

Per applicare il modello occorre definire una stazione climatica per la quale si disponga anche dei dati relativi al numero di eventi di pioggia occorsi nei diversi mesi dell'anno. Non risulta disponibile una analisi di dettaglio di questo tipo per la stazione di Reggio Calabria mentre una siffatta analisi è stata condotta con riferimento alla stazione di Firenze Ximeniano. Questa stazione è stata pertanto utilizzata come stazione di riferimento per le analisi ed il passaggio dalla stazione di Firenze alla Stazione di Reggio Calabria è stato effettuato in funzione del numero medio annuo di giorni di pioggia che risulta disponibile per entrambe le stazioni.

Considerando un velo idrico di 0.1 mm di acqua che ristagna sulla pavimentazione si ottengono i risultati riportati in colonna (1) di Tabella 16. Ricavando poi gli eventi piovosi e la loro durata dalla stazione meteo di Firenze Ximeniano (colonna (2) e (3)) e considerando che per ogni evento piovoso ci sia un ciclo di asciugatura completo si ottengono i tempi complessivi di pavimentazione umida riportati in colonna (3).

**Tabella 16 Tempo di pavimentazione umida per la stazione di Firenze**

MESE	TEMPO DI EVAPORAZIONE [ore] (1)	NUMERO DI EVENTI PIOVOSI (2)	TEMPO DI PAVIMENTAZIONE BAGNATA [ore] (3)	TEMPO DI PAVIMENTAZIONE UMIDA [ore] (4)
Gennaio	4,34	10,24	105	44
Febbraio	2,42	8,89	96	22
Marzo	1,63	9,85	97	16
Aprile	1,11	8,39	78	9.4
Maggio	0,72	9,17	92	6.6
Giugno	0,60	6,82	49	4.1
Luglio	0,54	4,67	25	2.5
Agosto	0,65	8,63	24	5.6
Settembre	0,98	6,33	67	6.2
Ottobre	1,78	7,83	76	14
Novembre	3,15	9,61	137	30
Dicembre	4,58	8,46	122	39

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte	Codice documento GE0054_F0	Rev F0	Data 20/06/2011	

	TOTALE	968	199
--	--------	-----	-----

#### 4. Calcolo dei tempi di pioggia e di asciugatura nella stazione di Reggio Calabria

Per la definizione del tempo di pavimentazione bagnata o umida della stazione di Reggio Calabria sono stati estratti dalle stazioni meteo di Firenze e di Reggio Calabria i dati relativi al numero medio annuo di giorni di pioggia e si è assunto che la durata di umido possa essere considerata proporzionale ai giorni di pioggia..

I giorni di pioggia nel triennio 2007 – 2009 per Firenze e per Reggio Calabria sono rispettivamente: 333 e 303. Di conseguenza il tempo di pavimentazione bagnata o umida per la stazione di Reggio Calabria è riportato in Tabella 17

**Tabella 17 Tempo di pavimentazione umida per la stazione di Reggio Calabria**

MESE	NUMERO DI EVENTI PIOVOSI	TEMPO DI PAVIMENTAZIONE BAGNATA [ore]	TEMPO DI PAVIMENTAZIONE UMIDA [ore]
Gennaio	9,32	96	40
Febbraio	8,09	87	20
Marzo	8,96	88	15
Aprile	7,64	71	8.5
Maggio	8,34	83	6.0
Giugno	6,20	44	3.7
Luglio	4,25	23	2.3
Agosto	7,85	22	5.1
Settembre	5,76	61	5.6
Ottobre	7,12	69	13
Novembre	8,75	125	28
Dicembre	7,70	111	35
	TOTALE	880	182
TOTALE PAVIMENTAZIONE "NON ASCIUTTA"		1062	

Il tempo di pavimentazione umida risulta pertanto pari al 17% del tempo in cui la pavimentazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Probabilità di sfondamento delle barrire di sicurezza sul Ponte	<i>Codice documento</i> GE0054_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

non è considerata “asciutta” (182/1062 ore).