

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA




PROGETTO DEFINITIVO ALTERNATIVE AI SITI DI DEPOSITO

(Richieste CTVA del 22/12/2011 Prot. CTVA/2011/4534 e del 16/03/2012 Prot. CTVA/2012/1012)

EUROLINK S.C.p.A.

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

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

Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art.21 del D.Lgs. 82/2005"

| | |
|--|-------------------|
| <p><i>Unità Funzionale</i> GENERALE <i>Tipo di sistema</i> TECNICO <i>Raggruppamento di opere/attività</i> <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> Analisi del Rischio <i>Titolo del documento</i> Generale Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento</p> | <p>GEV0056_F0</p> |
|--|-------------------|

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| CODICE | C | G | 3 | 4 | 0 | 0 | P | R | X | V | G | T | C | R | 5 | G | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | F0 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

| REV | DATA | DESCRIZIONE | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|-----|------------|------------------|----------|-------------|----------------|
| F0 | 31/05/2012 | Emissione finale | F. Corsi | F. La Torre | L. Domenichini |

NOME DEL FILE GEV0056_F0

revisione interna: __

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | <p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p> | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |

INDICE

| | |
|---|---|
| INDICE..... | 3 |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento..... | 5 |

| | | | | |
|---|---|---|--------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 | |

Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA
 PROGETTO DEFINITIVO



Rischio aquaplaning sul Ponte

Valutazione del rischio di innesco del fenomeno di aquaplaning sul Ponte

conseguente alla variazione delle pendenze trasversali o longitudinali a causa di condizioni di traffico (stradale e ferroviario) normali (in esercizio) o di emergenza.

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



La problematica riguarda l'analisi delle condizioni di percorribilità del traffico autostradale sulle carreggiate del Ponte, nel caso in cui, per effetto delle deformazioni indotte dai carichi stradali e ferroviari, la pendenza trasversale dell'impalcato stradale si riduce e quella longitudinale aumenta provocando, di conseguenza, in concomitanza di fenomeni atmosferici in atto, un accumulo temporaneo di acqua.

| | | | | |
|---|---|---|--------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 | |

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA
 PROGETTO DEFINITIVO



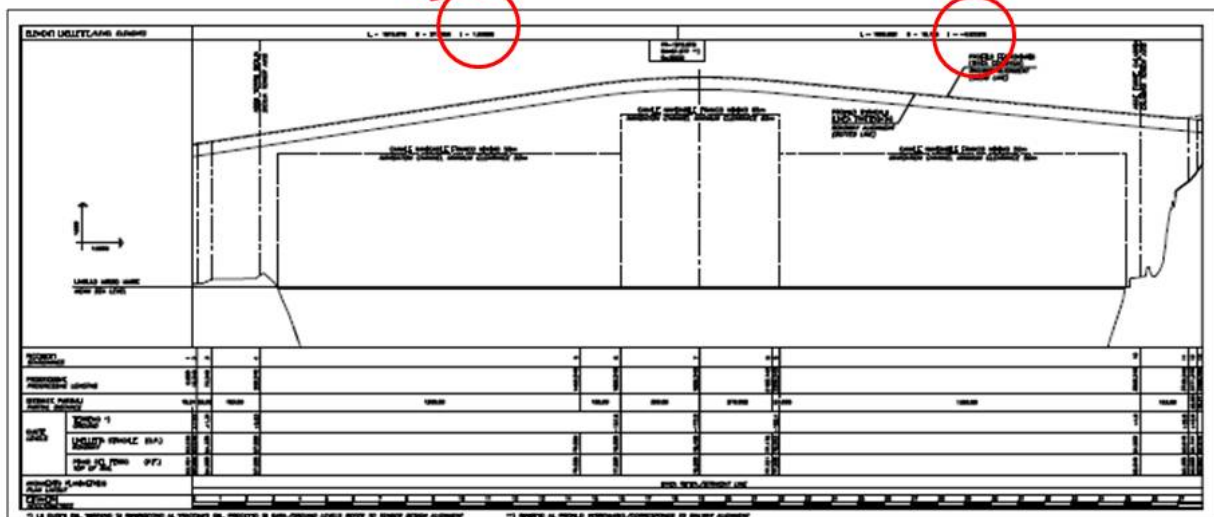
Rischio aquaplaning sul Ponte

LE PENDENZE NOMINALI DELL'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO

**PROFILO LONGITUDINALE
 dell'Opera di attraversamento**

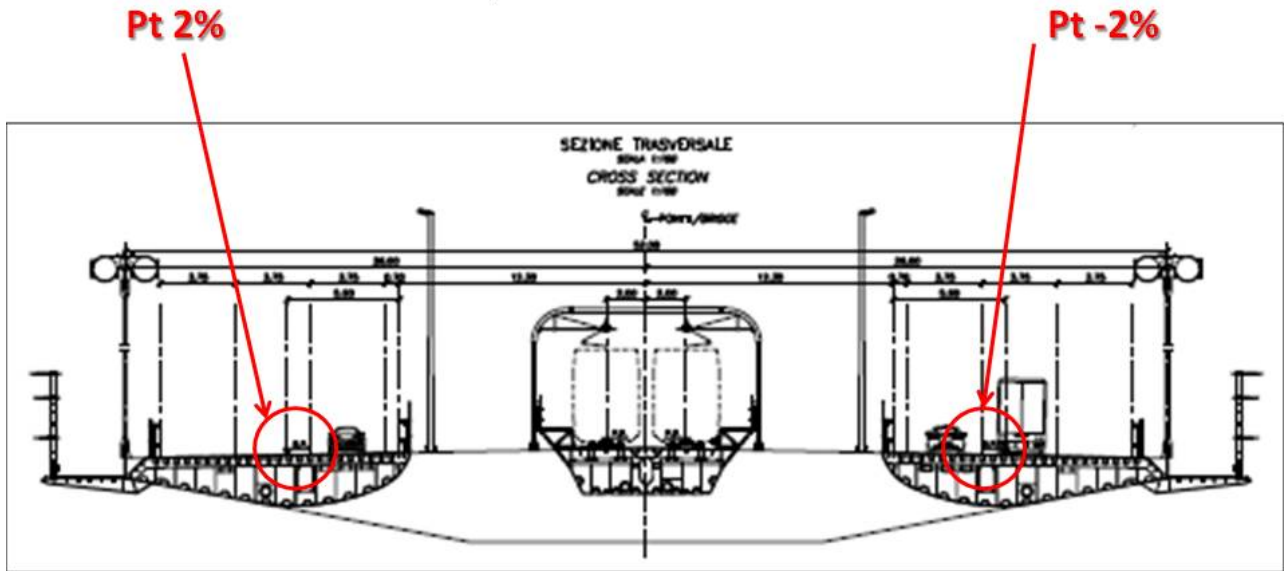
PI 1,5%

PI -0,9%





SEZIONE TRASVERSALE dell'Opera di attraversamento





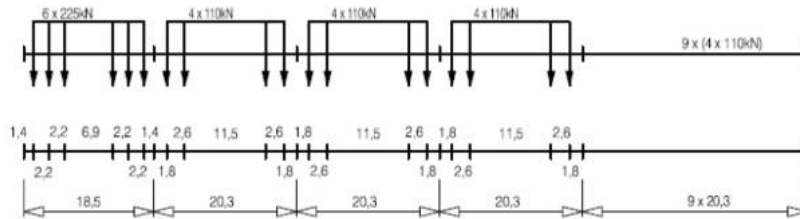
LE CONDIZIONI DI CARICO

CONVOGLI FERROVIARI

Train type 1

Tipo 1 – Treno passeggeri trainato da locomotore

$\Sigma Q = 6630 \text{ kN}$ $V = 200 \text{ km/h}$ $L = 262.10 \text{ m}$ $q = 25.3 \text{ kN/m}$

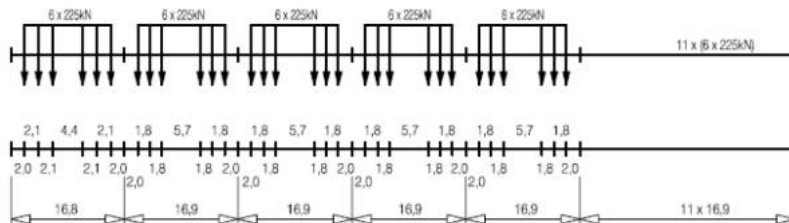


$\Sigma Q = 6.630 \text{ kN}$
Presenza nella mix:
19%

Train type 5

Tipo 5 – Treno merci trainato da locomotore

$\Sigma Q = 21600 \text{ kN}$ $V = 80 \text{ km/h}$ $L = 270.30 \text{ m}$ $q = 80.0 \text{ kN/m}$



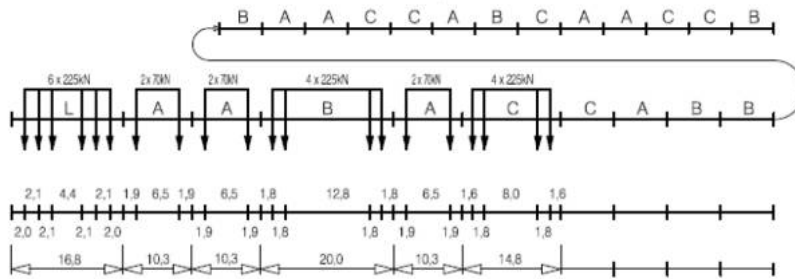
$\Sigma Q = 21.600 \text{ kN}$
Presenza nella mix:
5%
(Convoglio più pesante)



Train type 6

Tipo 6 – Treno merci trainato da locomotore

$\Sigma Q = 14310 \text{ kN}$ $V = 100 \text{ km/h}$ / $L = 333.10 \text{ m}$ $q = 43.0 \text{ kN/m}$

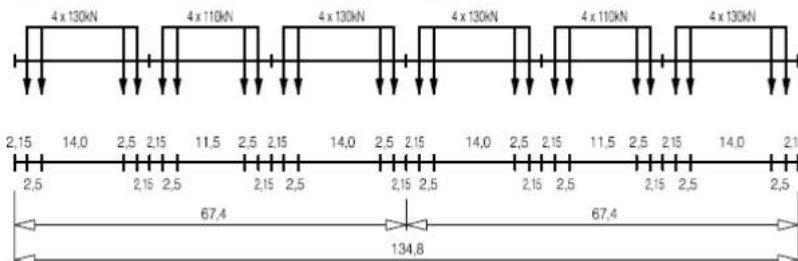


$\Sigma Q = 14.310 \text{ kN}$
Presenza nella mix:
19%

Train type 9

Tipo 9 – Treno locale

$\Sigma Q = 2960 \text{ kN}$ $V = 120 \text{ km/h}$ / $L = 134.80 \text{ m}$ $q = 22.0 \text{ kN/m}$



$\Sigma Q = 2.960 \text{ kN}$
Presenza nella mix:
57%
(Convoglio più leggero)

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



TRAFFICO STRADALE

1. Regime di circolazione normale

Carico complessivo all'anno 2046 :< **4.000 kN** sostanzialmente equilibrato tra le due carreggiate

Per una carreggiata si può considerare 2.000 kN

2. Blocco su una carreggiata per incidente

Code possibili all'anno 2046:

in prossimità dell'incidente 480 m circa

nelle sezioni di blocco intermedie (sezioni con semafori freccia/croce) 100 m circa

Carico complessivo all'anno 2046 nella carreggiata bloccata: 6.000 kN circa

Nell'altra carreggiata il traffico fluisce normalmente (carico d'esercizio circa 2.000 kN) oppure viene istituito un regime di circolazione bidirezionale (carico d'esercizio circa 4.000 kN)

| | | | |
|---|---|---|--------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 |



TESSITURA DELLA PAVIMENTAZIONE DEL PONTE

Il requisito di tessitura della pavimentazione del ponte sarà:

MPD= 0,8 – 1,8 mm

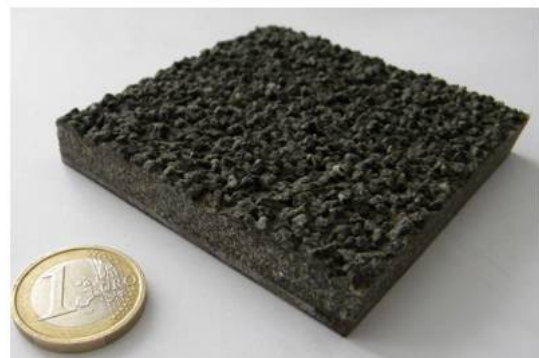
valutata con la prova di altezza in sabbia (norma UNI EN ISO 13473-1)

Il valore definitivo sarà definito a seguito dello studio delle miscele che sarà effettuato nel corso del PE

Nelle valutazioni riguardanti lo spessore del velo idrico e la velocità di Aquaplaning si è fatto riferimento al valore minimo di

MPD=0,8 mm

corrispondente ad un valore di ETD pari a 0,84 (*)



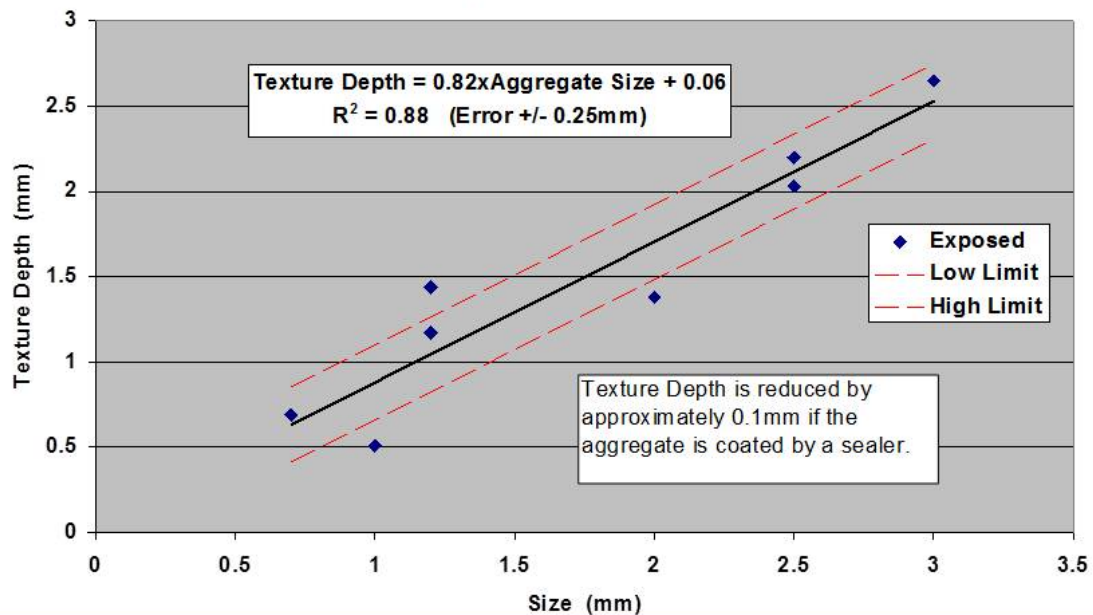
(*) ETD=0,2+0,8MPD)

| | | | | |
|---|---|---|--------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 | |



Dati preliminari sul mix design dello strato d'usura della pavimentazione sull'Opera di attraversamento

Texture Depth vs Aggregate Size
(100% coverage of aggregate)



| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



SCENARI DI TRAFFICO POSSIBILI

1. **Situazioni stazionarie:** traffico (stradale o ferroviario) su un lato del Ponte bloccato con traffico stradale fluido sul lato opposto.

Il blocco della circolazione su un lato del Ponte può essere dovuto a:

- a) guasto di un convoglio sul Ponte su uno dei due binari;
- b) ingorgo stradale su una delle due carreggiate a causa di un incidente grave sul Ponte o di rigurgito sul Ponte di code generate da un incidente all'esterno del Ponte;
- c) entrambe le situazioni

2. **Situazioni quasi stazionarie:** transito di un convoglio ferroviario a velocità normale su uno dei due binari mentre sulla carreggiata stradale affiancata il traffico stradale:

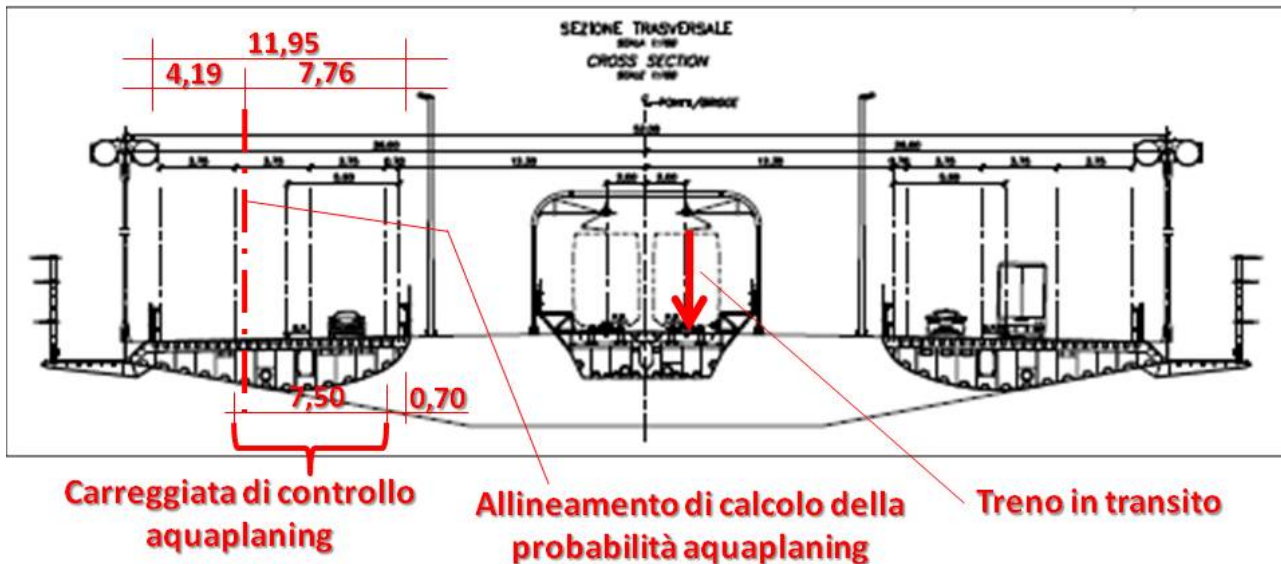
- a) Transito di un convoglio ferroviario con traffico stradale è fluido su entrambe le carreggiate (condizioni operative normali)
- b) Transito di un convoglio ferroviario con traffico stradale bloccato



LE CONDIZIONI DI CALCOLO

Carreggiata ME-SA

Carreggiata SA-ME



| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



1

PROBABILITA' DI ACCADIMENTO DEGLI SCENARI DI TRAFFICO CONSIDERATI

La probabilità è legata alla probabilità che un convoglio ferroviario si fermi lungo il Ponte a causa di un guasto o che il traffico stradale sia bloccato su una delle due carreggiate del ponte a causa di un incidente grave o che avvengano entrambe le situazioni contemporaneamente
(CONDIZIONE STAZIONARIA)
oppure alla probabilità di avere un treno in transito sul Ponte
(CONDIZIONE QUASI STAZIONARIA)

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



FREQUENZA DI GUASTO DI UN CONVOGLIO FERROVIARIO CHE NE CAUSA LA FERMATA SUL PONTE

- Frequenza guasti: $1,0 \times 10^{-6}$ (media nazionale)
- Numero giornaliero di convogli (bidirez): 120
- Esposizione: $1,45 \times 10^5$ km percorsi/anno
- numero di guasti in un anno: 0,145
- tempo di risoluzione del guasto al treno: 3 ore
- numero di ore di presenza di un treno fermo sul Ponte : 0,43 ore/anno

FREQUENZA CON CUI UN TRENO SI FERMA SUL PONTE :

$4,95 \times 10^{-5}$

Tempo di ritorno: ~ 20.000 anni

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



FREQUANZA DI BLOCCO DELLA CARREGGIATA STRADALE PER INCIDENTE GRAVE

- $TGM_{bidir} : 18.908 \text{ veic/g}^{(1)}$
- Lunghezza del Ponte (da giunto a giunto): 3,3 km
- Tasso di incidentalità (valore medio): $2,20 \times 10^{-7} \text{ inc/veic} \times \text{km}$
- Numero di incidenti all'anno (2 carr.): 5,01 inc/anno
- Tempo di risoluzione incidente: 2,5 ore
- Probabilità che l'incidente produca il blocco totale della carr.: 0,12
- Numero di ore di blocco all'anno: 1,50 ore/anno

**FREQUENZA CON CUI CHE LA CARREGGIATA STRADALE
RISULTA BLOCCATA PER INCIDENTE: $1,72 \times 10^{-4}$
Tempo di ritorno: 5.800 anni**

(1) TGM all'anno 2036, ritenuto rappresentativo del TGM medio nella vita utile

| | | | | |
|---|---|---|--------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 | |



**FREQUENZA CON CUI UN TRENO SI PUO' FERMARE SUL PONTE
 MENTRE LA CARREGGIATA ADIACENTE E' BLOCCATA DA UN INCIDENTE**

$$1,72 \times 10^{-4} \times 4,95 \times 10^{-5} = 8,49 \times 10^{-9}$$

Tempo di ritorno: ~ 118.000.000 anni

(scenario praticamente inesistente)

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



PROBABILITA' DI OCCUPAZIONE DEL PONTE DA PARTE DI UN TRENO IN TRANSITO

Per $V_{\text{treno}} = 100 \text{ km/h}$

Lungh. ponte = 3,3 km

Traffico ferroviario: 120 convogli/giorno

Tempo di attraversamento del ponte da parte del treno = 0,033 ore

Occupazione giornaliera del ponte da parte di un treno in transito =
3,96 ore

Probabilità di presenza di un treno sul Ponte = 0,165

| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 |



**PROBABILITA' DI PRESENZA DI UN TRENO SUL PONTE E DI
 CONTEMPORANEO BLOCCO STRADALE SULLA CARREGGIATA
 ADIACENTE AL BINARIO SU CUI IL TRENO STA TRANSITANDO**

Probabilità di presenza di un treno su uno dei due binari del Ponte
 $= 0,165/2 = 0,0825$

Frequenza di blocco stradale sulla carreggiata adiacente al binario
 impegnato $= 1,72 \times 10^{-4} / 2 = 8,58 \times 10^{-5}$

**Frequenza composta su entrambi i lati del Ponte =
 $1,42 \times 10^{-5}$**

Tempo di ritorno ~ 70.000 anni

| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 |



RIEPILOGO

| SCENARI DI TRAFFICO | FREQUENZA ANNUA | TEMPO DI RITORNO | NOTE |
|---------------------|-----------------------|------------------|---|
| 1.a | $4,95 \times 10^{-5}$ | 20.000 anni | Scenario analizzato |
| 1.b | $1,72 \times 10^{-4}$ | 5.800 anni | Nel PE potrà essere valutato se genera condizioni più critiche di quella dello scenario 2,a |
| 1.c | $8,49 \times 10^{-9}$ | 118.000.000 anni | Situazione praticamente irrealistica |
| 2.a | 16,5% (*) | | Scenario analizzato |
| 2.b | $1,42 \times 10^{-5}$ | 70.000 anni | Scenario da eventualmente analizzare nel PE |

(*) Percentuale di tempo di permanenza dei treni sul ponte

| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 |



②

**CALCOLO DELLE VARIAZIONI DI PENDENZA
 (TRASVERSALE E LONGITUDINALE)
 INDOTTE DA UN CONVOGLIO FERROVIARIO
 IN TRANSITO O FERMO SUL PONTE
 NELLA POSIZIONE PIU' SFAVOREVOLE**

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



LA COMBINAZIONE DELLE CONDIZIONI DI CARICO dovute al passaggio o allo stazionamento di veicoli stradali e/o convogli ferroviari (singolarmente o insieme) PUO' PRODURRE LA PERDITA DELLE PENDENZE NOMINALI DELLA PIATTAFORMA STRADALE

Dai valori riportati in precedenza riguardanti i carichi di traffico stradale e ferroviario risulta che le condizioni di carico più sbilanciato che si possono determinare sono rappresentate dal transito o dalla fermata per guasto di un convoglio ferroviario su un binario (2.900 – 21.600 kN) con traffico stradale bloccato sulla carreggiata adiacente al binario su cui transita o staziona il treno (6.000 kN) e traffico stradale fluido sulla carreggiata opposta (2.000 kN) (non si fa il caso di traffico sospeso sulla carreggiata non incidentata perché, in assenza di traffico cade il problema del rischio di aquaplaning).

In un primo approccio al problema si è analizzato il caso di transito o stazionamento di un convoglio ferroviario su uno dei due binari e traffico stradale fluido su entrambe le carreggiate (scenari di traffico 1.a e 2.a).

Ogni ulteriore approfondimento potrà essere sviluppato durante l'elaborazione del Progetto Esecutivo

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



SPOSTAMENTI VERTICALI
indotti da un convoglio ferroviario in transito o fermo,
posizionato nel punto più critico (1/4 della luce del Ponte).

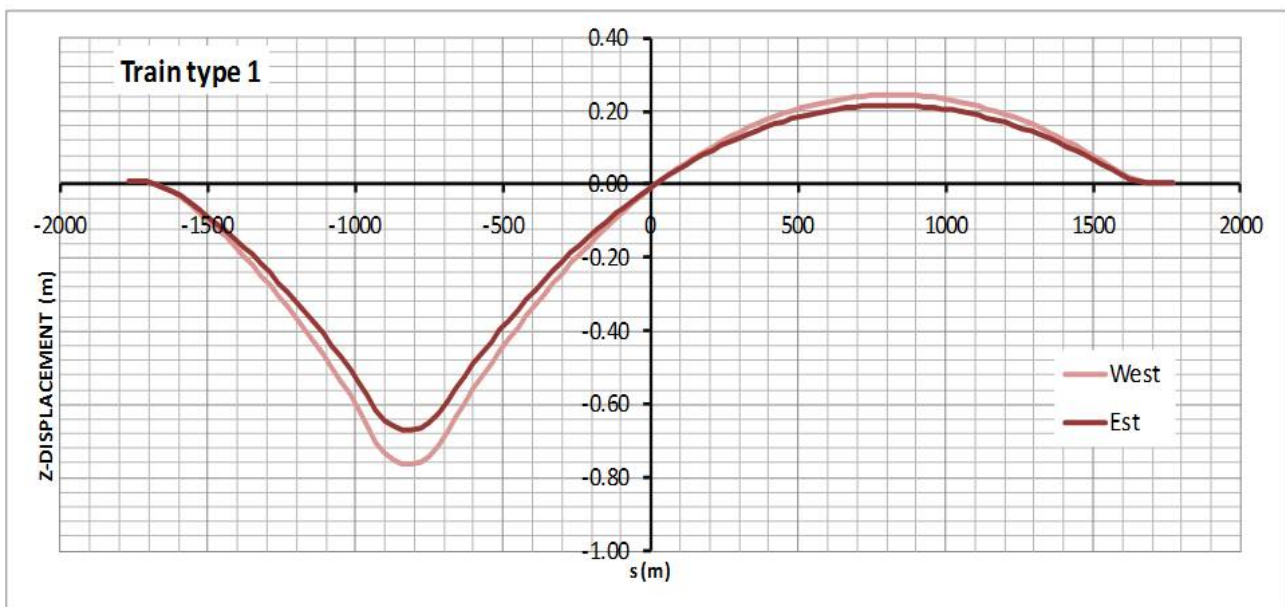
I convogli ferroviari considerati sono:
treni tipo 1 – 5 – 6 – 9

Le deformazioni indotte sono rappresentate mediante il calcolo degli abbassamenti verticali dei due bordi estremi dell'impalcato del Ponte (valutazioni a cura di EDIN Srl).



Train type 1

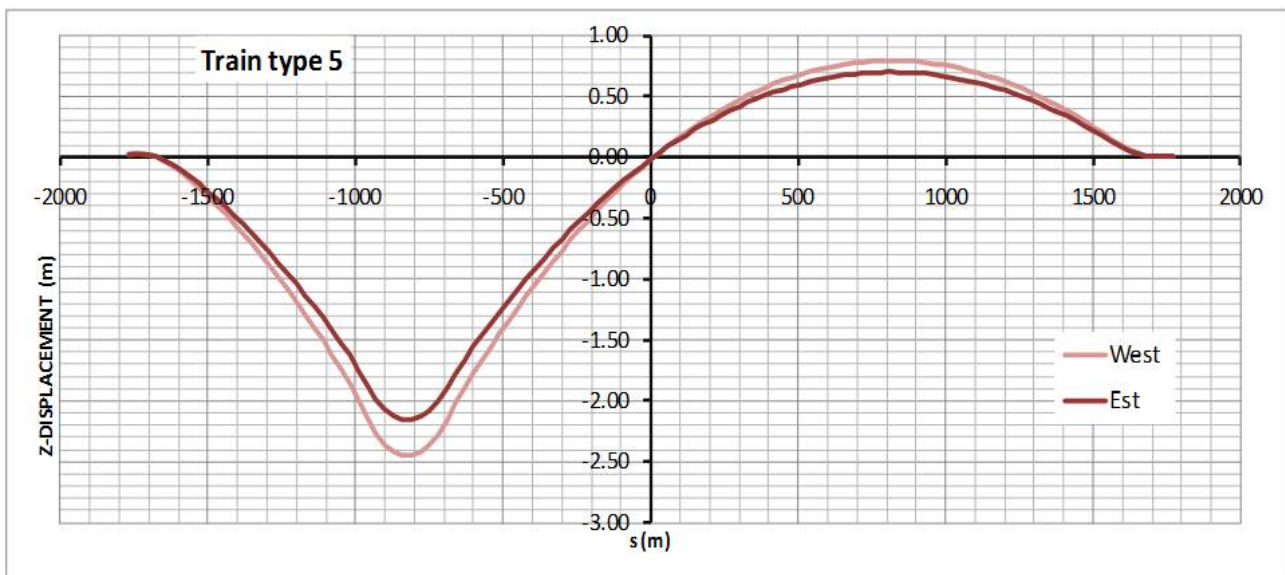
$\Sigma Q = 6.630 \text{ kN}$





$\Sigma Q = 21.600 \text{ kN}$

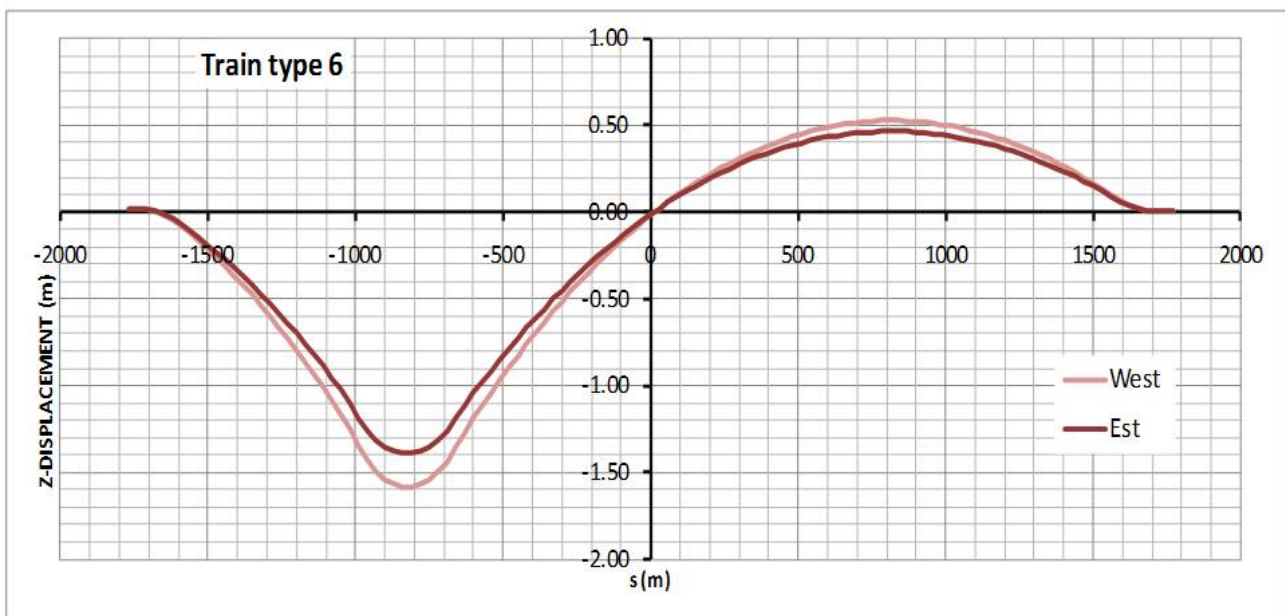
Train type 5





$\Sigma Q = 14.310 \text{ kN}$

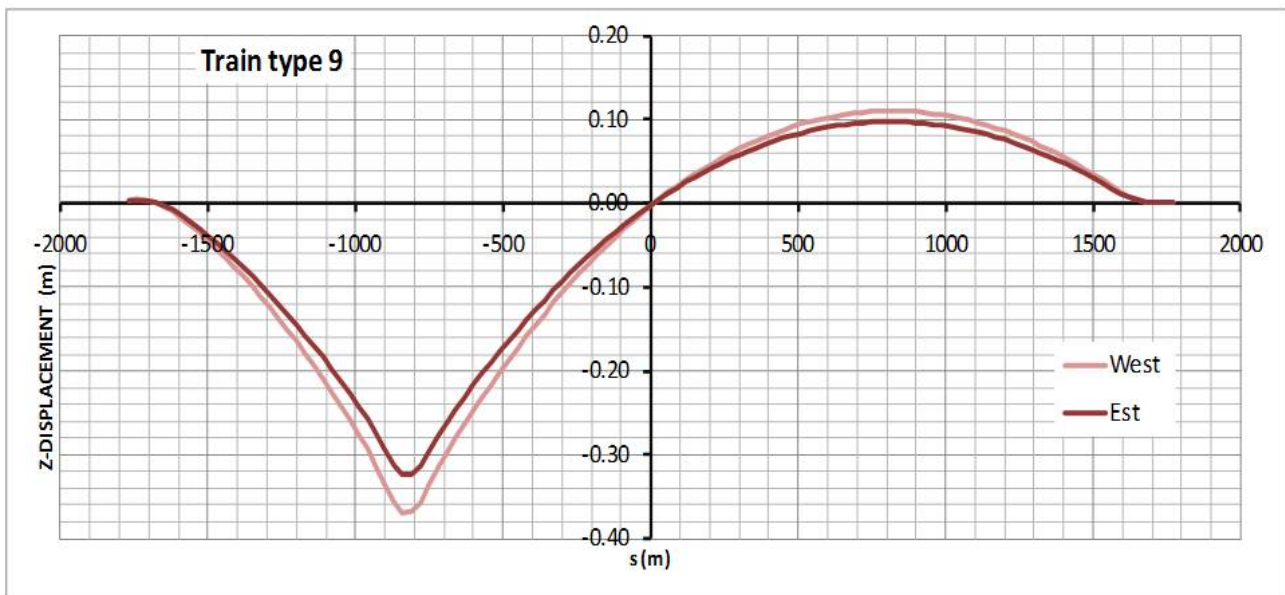
Train type 6





$\Sigma Q = 2.960 \text{ kN}$

Train type 9



| | | | | |
|---|---|---|--------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 | |



Dagli spostamenti verticali dei bordi dell'impalcato dell'Opera di attraversamento riportati nei diagrammi precedenti si è passati alla valutazione della

variazione delle pendenze trasversali Pt e longitudinali Pl

della carreggiata stradale più sfavorevole (quella più lontana dal binario caricato).

Nella tabella che segue sono riportati i valori delle pendenze più critiche risultanti (max riduzione della Pt – max incremento della Pl) e le corrispondenti variazioni % rispetto ai valori nominali (Pt nom = 2,0% - Pl nom = 1,5%)

| <i>Condizione di carico</i> | <i>Pl max (%)</i> | <i>Pl max - Pl nom (%)</i> | <i>Pt max (%)</i> | <i>Pt max - Pt nom (%)</i> |
|-----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Train Type 1 | 1,6 | 0,1 | 1,8 | -0,2 |
| Train Type 5 | 1,9 | 0,4 | 1,4 | -0,6 |
| Train Type 6 | 1,8 | 0,3 | 1,6 | -0,4 |
| Train Type 9 | 1,6 | 0,1 | 1,9 | -0,1 |

In presenza del treno più pesante (tipo 5), la pendenza trasversale non si riduce mai sotto il valore di 1,4% e quella longitudinale non supera mai il valore di 1,9%.

I treni più leggeri (tipo 1 e 9) portano a variazioni delle pendenza trasversali e longitudinali dello 0,1 – 0,2 %

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



Il transito o lo stazionamento di treni lungo l'Opera di attraversamento non produce quindi mai una situazione di inversione della pendenza trasversale della piattaforma stradale, che potrebbe essere particolarmente critica per il problema dell'aquaplaning.

L'eccentricità del carico provoca la riduzione delle pendenze trasversali (e l'aumento di quelle longitudinali) ma con valori contenuti entro al massimo (nel caso del treno più pesante) 0,5 - 0,6 punti percentuali.

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



③

CALCOLO DEGLI SPESSORI DI VELO IDRICO

**prodotti sulla carreggiata stradale più critica (quella
 opposta al binario su cui transita o staziona il treno –
 v. Dia 12)
 dai 4 tipi di convoglio ferroviario considerati
 (tipo 1 – 5 – 6 – 9).**

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



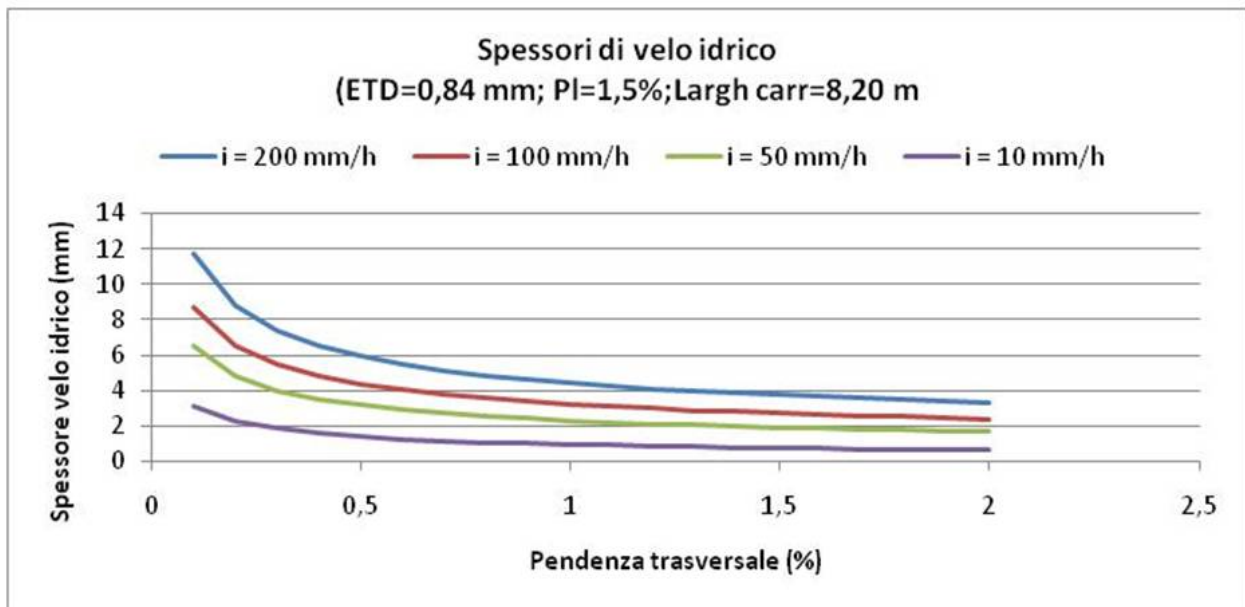
Il velo idrico viene determinato in corsia di marcia (punto più critico, v. Dia 12).

La determinazione degli spessori di velo idrico è stata sviluppata utilizzando il software DEFSTRAV sviluppato nel corso del progetto europeo VERT.

Il DEFSTRAV utilizza per il calcolo dello spessore del velo idrico (WD) in funzione dell'intensità di pioggia (i), della pendenza geodetica del piano stradale (P_{geod} , composizione della Pt e della PI), della tessitura della pavimentazione (MPD) e della lunghezza dei tubi di flusso (L), il modello:

$$WD = 0,26 \times ETD^{0,4} \times \frac{(i \times L)^{0,4}}{P_{geod}^{0,3}} - ETD + 0,30$$

Essendo $ETD = 0,2 + 0,8 \times MPD$





Distribuzione areale WD – treno tipo 5 – $i=100/h$



| | | | | | | | |
|---|---|---|--|------------|-------------|----|------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | | Codice documento GEV0056_F0.doc | <table border="1"> <tr> <td><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>31/05/2012</td> </tr> </table> | <i>Rev</i> | <i>Data</i> | F0 | 31/05/2012 |
| <i>Rev</i> | <i>Data</i> | | | | | | |
| F0 | 31/05/2012 | | | | | | |

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA
 PROGETTO DEFINITIVO



Rischio aquaplaning sul Ponte

Distribuzione areale WD – treno tipo 9 – i=100 mm/h





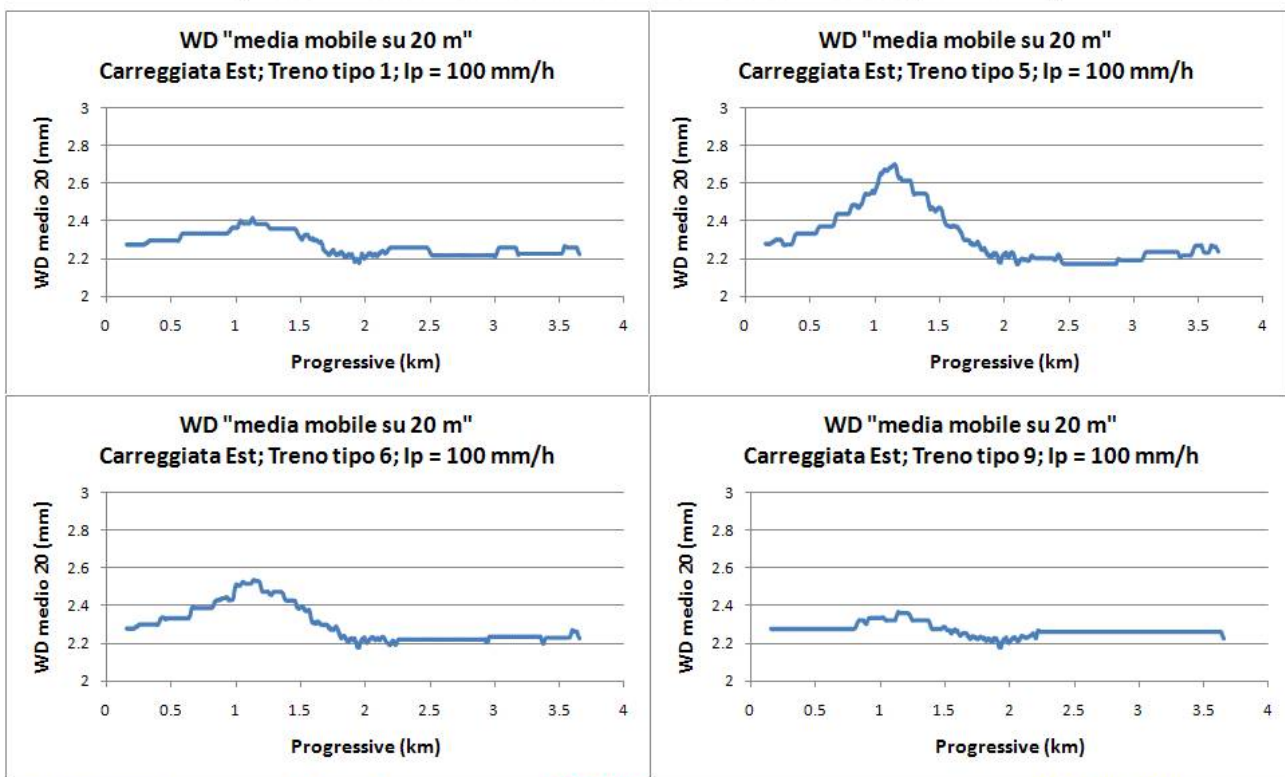
Valore massimo dello spessore del velo idrico che si forma nella corsia di marcia normale (che è la più critica in quanto la più distante rispetto al colmo, anche se le velocità di transito dei veicoli potrebbero essere minori), nelle due carreggiate stradali del ponte, in presenza di ciascun tipo di treno considerato ed in funzione dell'intensità della pioggia, con riferimento ad un valore della macrotestitura della piano viabile di MPD=0,8 mm (v. Dia 9).

| CARREGGIATA | CONDIZIONE DI CARICO | Spessore max del velo idrico in corsia di marcia (mm) | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | i=10 mm/h | i=20 mm/h | i=30 mm/h | i=40 mm/h | i=50 mm/h | i=60 mm/h | i=70 mm/h | i=80 mm/h | i=90 mm/h | i=100 mm/h | i=200 mm/h | i=220 mm/h | i=330 mm/h |
| W - adiacente a binario caricatc | 1 - treno tipo 1 | 0,61 | 0,97 | 1,24 | 1,46 | 1,64 | 1,81 | 1,96 | 2,09 | 2,22 | 2,34 | 3,26 | 3,41 | 4,10 |
| W - adiacente a binario caricatc | 2 - treno tipo 5 | 0,62 | 0,99 | 1,26 | 1,48 | 1,67 | 1,84 | 1,99 | 2,13 | 2,26 | 2,38 | 3,31 | 3,46 | 4,16 |
| W - adiacente a binario caricatc | 3 - treno tipo 6 | 0,61 | 0,98 | 1,25 | 1,47 | 1,66 | 1,82 | 1,97 | 2,11 | 2,24 | 2,36 | 3,29 | 3,44 | 4,14 |
| W - adiacente a binario caricatc | 4 - treno tipo 9 | 0,61 | 0,97 | 1,24 | 1,46 | 1,64 | 1,81 | 1,96 | 2,09 | 2,22 | 2,34 | 3,26 | 3,41 | 4,10 |
| E - opposta rispetto al binario caricatc | 1 - treno tipo 1 | 0,66 | 1,04 | 1,32 | 1,55 | 1,74 | 1,91 | 2,07 | 2,21 | 2,35 | 2,47 | 3,43 | 3,59 | 4,31 |
| E - opposta rispetto al binario caricatc | 2 - treno tipo 5 | 0,78 | 1,20 | 1,50 | 1,75 | 1,97 | 2,16 | 2,33 | 2,48 | 2,63 | 2,77 | 3,82 | 3,99 | 4,79 |
| E - opposta rispetto al binario caricatc | 3 - treno tipo 6 | 0,70 | 1,10 | 1,39 | 1,63 | 1,83 | 2,01 | 2,17 | 2,32 | 2,46 | 2,58 | 3,58 | 3,74 | 4,50 |
| E - opposta rispetto al binario caricatc | 4 - treno tipo 9 | 0,64 | 1,02 | 1,29 | 1,51 | 1,70 | 1,87 | 2,03 | 2,17 | 2,30 | 2,42 | 3,37 | 3,52 | 4,23 |

**In giallo è riportata la carreggiata su cui si formano i veli idrici più elevati (che è quella opposta rispetto al binario su cui transita il treno).
Gli spessori di velo idrico più elevati si possono formare al passaggio del treno tipo 5 (che è il più pesante)**



**Andamento longitudinale dello spessore del velo idrico lungo l'allineamento in
prossimità del bordo dx della corsia di marcia (v. Dia 12)**



| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



Lo spessore del velo idrico prodotto sulla piattaforma stradale da una pioggia di intensità 100 mm/h (elevatissima), in concomitanza della presenza (transito o stazionamento) di un treno, raggiunge il valore massimo di circa **2,8 mm** al passaggio del treno tipo 5 (il più pesante).
 Il transito di treni tipo 1 o 9 (più leggeri) produce valori di WD non superiori a 2,5 mm

NB

lo spessore nominale prodotto dalla stessa pioggia ($i=100$ mm/h) sulla corsia di marcia del ponte indeformato (quindi con le pendenze nominali di 2,0% trasversale e di 1,5% longitudinale) è pari **2,28 mm**

| | | | |
|---|---|---|--------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 |



4

CALCOLO DEL VALORE DELLA VELOCITA' DI AQUAPLANING
In funzione dello spessore del velo idrico (WD) presente
sulla carreggiata stradale per date caratteristiche dei
pneumatici
(in termini di pressione di gonfiaggio – Pp
e di profondità di scolpitura - TTD)

| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 |



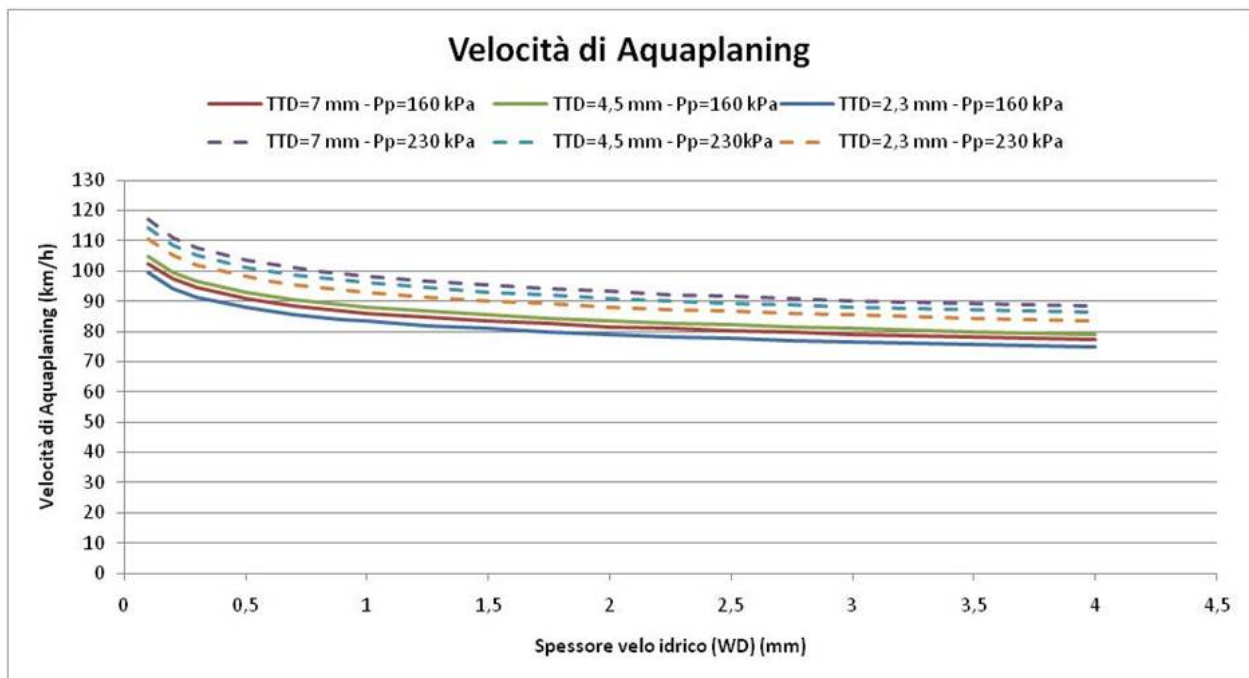
Si adotta la formulazione di Gallaway
che fornisce la velocità alla quale si può innescare il fenomeno
dell'aquaplaning (V_{aq}) in funzione dello spessore del velo idrico (WD),
della pressione di gonfiaggio dei pneumatici (P_p), della scolpitura dei
pneumatici (TTD) e della tessitura della pavimentazione (ETD)

$$V_{aq} = 0,9143 \times SD^{0,04} \times P_p^{0,3} \times (TTD + 0,794)^{0,06} \times A$$

Con:

SD = percentuale di slip (nei calcoli si è assunto aquaplaning totale \Rightarrow SD=100%)

A = termine funzione di WD e di ETD



La variabile che maggiormente influenza il valore della velocità di Aquaplaning (oltre allo spessore del velo idrico) è la pressione di gonfiaggio dei pneumatici

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



5

CALCOLO DELLA PROBABILITA' DI INNESCO DEL FENOMENO DELL'AQUAPLANING

**in funzione della probabilità di formazione sulla
 pavimentazione di spessori di velo idrico di dato valore
 (funzione della probabilità con cui si possono avere piogge
 intense e brevi e della probabilità con cui si possono
 verificare situazioni di perdita delle pendenze trasversali e
 longitudinali) nonché della distribuzione di probabilità delle
 velocità attuate e delle caratteristiche (pressione di
 gonfiaggio e scolpitura) dei pneumatici della popolazione di
 utenti che possono circolare sul ponte**

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



5.1

PROBABILITA' DI PIOGGE BREVI E INTENSE

La distribuzione di probabilità delle intensità di pioggia in funzione della durata non è disponibile negli studi idrologici allegati al PD del Ponte.

Nel PD sono disponibili le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSP) di Gumbel che riportano la distribuzione di probabilità di non superamento dei valori estremi di pioggia per $d < 1$ ora.

Per gli scopi dell'analisi in esame, dovrebbero essere ricavate le PDF delle intensità medie di pioggia, complete e non solo degli estremi, per durate variabili.

Essendo le durate di interesse piccole, sono necessarie serie storiche (quanti più anni possibile) pluviometriche campionate a non più di 5 minuti, la cui disponibilità è in generale molto limitata.

In parziale alternativa (soprattutto se hanno interesse elevati tempi di ritorno) si possono derivare serie sintetiche di tali precipitazioni, utilizzando modelli stocastici di generazione. Naturalmente la stima dei relativi parametri deve essere fatta su base campionaria.

C'è a tal proposito una vastissima letteratura scientifica.

Per lo sviluppo dei calcoli del potenziale innesco di fenomeni di aquaplaning sul Ponte, si è pertanto fatto riferimento alla LSP di Gumbel di Reggio Calabria. I risultati che si ottengono con un simile approccio risultano CAUTELATIVI

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA
PROGETTO DEFINITIVO

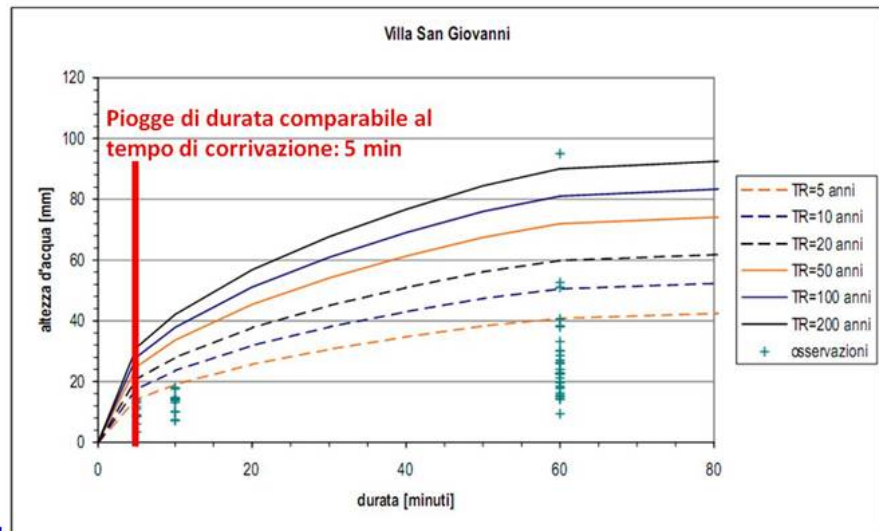


Rischio aquaplaning sul Ponte

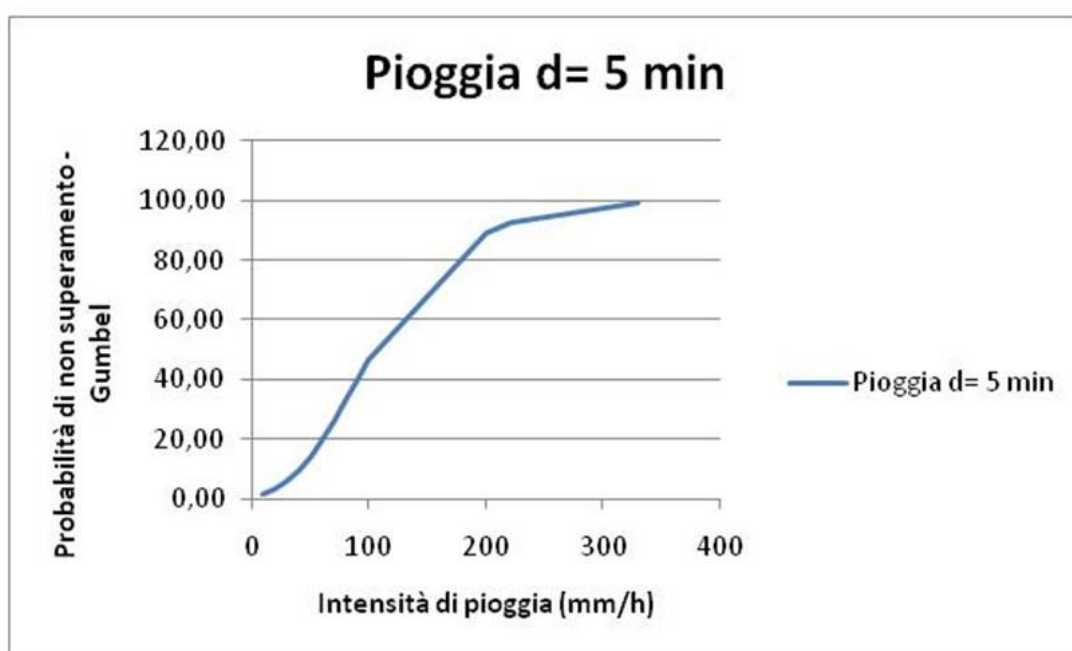
| | | PROBABILITA' DI NON SUPERAMENTO – GUMBEL | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p(d)$ | Durate [min] | i [mm/h] | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 200 | 222 | 329 |
| 0,172 | 1 | | 0,93 | 1,31 | 1,80 | 2,42 | 3,17 | 4,08 | 5,16 | 6,41 | 7,83 | 9,44 | 33,12 | 39,26 | 66,03 |
| 0,233 | 2 | | 1,10 | 1,78 | 2,73 | 4,01 | 5,65 | 7,67 | 10,07 | 12,86 | 15,99 | 19,44 | 58,74 | 66,01 | 88,28 |
| 0,346 | 5 | | 1,54 | 3,16 | 5,73 | 9,37 | 14,09 | 19,75 | 26,12 | 32,91 | 39,86 | 46,70 | 89,14 | 92,70 | 99,00 |
| 0,467 | 10 | | 2,21 | 5,61 | 11,34 | 19,30 | 28,85 | 39,09 | 49,17 | 58,48 | 66,67 | 73,61 | 98,16 | 99,00 | |
| 0,557 | 15 | | 2,89 | 8,27 | 17,35 | 29,19 | 42,08 | 54,42 | 65,20 | 74,03 | 80,95 | 86,20 | 99,56 | | |
| 0,631 | 20 | | 3,58 | 11,09 | 23,40 | 38,32 | 53,08 | 65,82 | | | | | | | |
| 1,000 | 60 | | 10,03 | 35,04 | 61,98 | 80,40 | 90,53 | 95,57 | | | | | | | |

Pioggia d= 5 min

Diagramma tratto dal documento di PD CF0700 P RG D C SB C7 G0 00 00 00 01 A.



| | | | |
|---|---|---|--------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 |



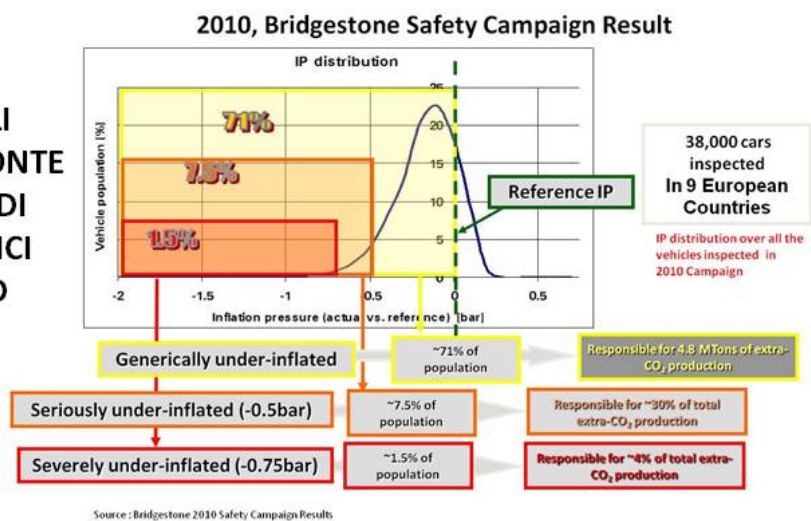
| | | | |
|---|---|---|--------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 |



5.2

PROBABILITA' CHE I VEICOLI STRADALI IN TRANSITO SUL PONTE VIAGGINO CON PRESSIONI DI GONFIAGGIO DEI PNEUMATICI INFERIORI ALLO STANDARD (220 kPa).

Dati Bridgestone relativi ad una campagna di indagine condotta nel 2010 su un campione di 38000 autovetture in Europa



Popolazione di veicoli che viaggiano con pneumatici sgonfi (valore di riferimento: 220kPa)
RUOTE ANTERIORI

| Range delle Pp (kPa) | Valore di calcolo della Pp (kPa) | Frequenza (%) |
|----------------------|----------------------------------|---------------|
| > 220 | 230 | 19% |
| 200 - 220 | 210 | 42% |
| 170 - 200 | 185 | 33% |
| < 170 | 160 | 6% |

| | | | |
|---|---|---|--------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 |



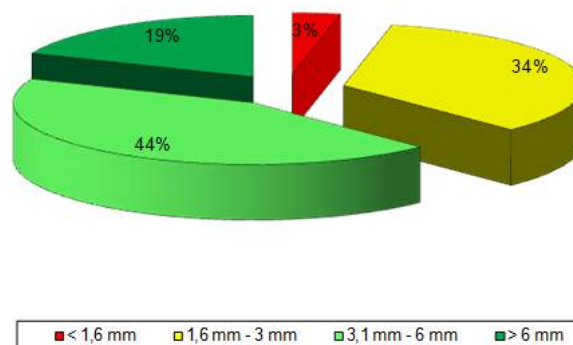
5.3

PROBABILITA' CHE I VEICOLI STRADALI IN TRANSITO SUL PONTE VIAGGINO CON PNEUMATICI DOTATI DI SCOLPITURE DI PROFONDITA' RIDOTTE



Usura pneumatici asse anteriore in rilievi normali

Dati Assogomma
2008 - 2010



Popolazione di veicoli che viaggiano con pneumatici lisci (valore di riferimento: TTD=8 mm) ROUTE ANTERIORI

| Range delle profondità di scolpitura (mm) | Valore di calcolo (mm) | Frequenza (%) |
|---|------------------------|---------------|
| 6 - 8 | 7 | 19% |
| 3 - 6 | 4,5 | 44% |
| 1,6 - 3 | 2,3 | 37% |

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



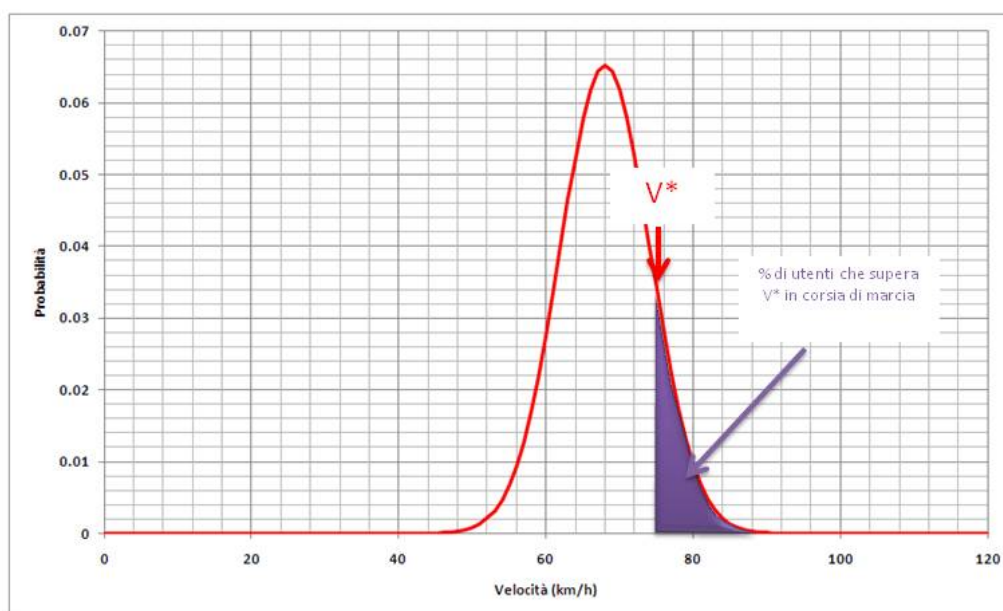
5.4

**PROBABILITA' CHE I VEICOLI STRADALI IN TRANSITO SUL PONTE ,
 CONSIDERATO IL REGIME DI CIRCOLAZIONE IMPOSTO
 (limite di velocità 80 km/h e presenza di un sistema di controllo
 e di sanzionamento delle velocità medie - tipo Tutor)
 VIAGGINO AD UNA VELOCITA' SUPERIORE
 AD UN VALORE DATO (V*)**

| | | | |
|---|---|---|--------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 |



Curva di distribuzione delle velocità in corsia di marcia in presenza di un limite di velocità di 80 km/h e del sistema Tutor



| | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 |



5.5

Calcolo della

PROBABILITA' CHE, CON UNA DATA GEOMETRIA DI IMPALCATO (Pt & PI) ED UNA PIOGGIA DI DATA INTENSITA',

SI ABBIAMUNA DATA $V_{\text{aquaplaning}}$ CHE

combinata con la

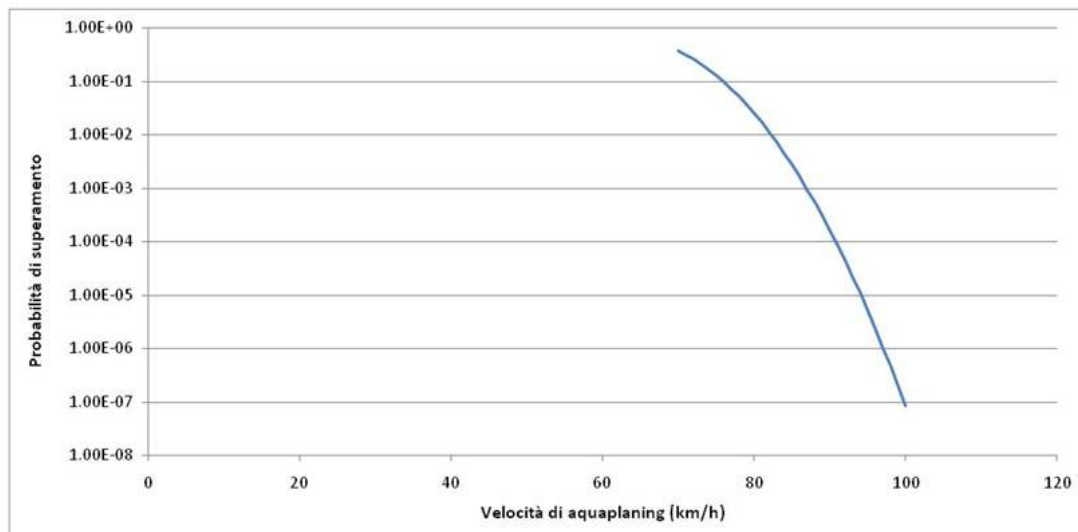
PROBABILITA' P(V) CHE I VEICOLI, TRANSITANTI NELLA CORSIA OVE SI HA IL WD CRITICO, VIAGGINO AD UNA VELOCITA' SUPERIORE O UGUALE ALLA $V_{\text{aquaplaning}}$,

PORTI ALL'INNESCO DEL FENOMENO DI AQUAPLANING

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



**PROBABILITA' P(V) CHE I VEICOLI, TRANSITANTI NELLA CORSIA DI MARCIA,
 VIAGGINO AD UNA VELOCITA' SUPERIORE O UGUALE ALLA $V_{aquaplaning}$**



| | | | | |
|---|---|---|--------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 | |



RISULTATI DELLE ANALISI

CASO a) - Scenario 1.a

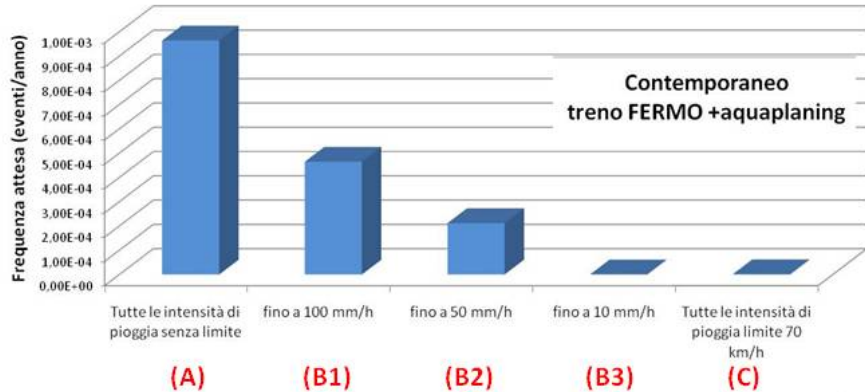
probabilità di innesco di fenomeni di aquaplaning nella carreggiata stradale e nella corsia più critica per quanto riguarda il fenomeno dell'aquaplaning, in occasione di un **treno fermo sul Ponte** di qualunque tipo (con probabilità proporzionale alla presenza % nella mix di traffico ferroviario di ciascun tipo di treno), in concomitanza di un evento piovoso di intensità qualunque, con veicoli che transitano con velocità superiori alla velocità di aquaplaning (secondo la curva di distribuzione riportata in precedenza) e con pneumatici di tutti i tipi (con la probabilità di avere pressioni di gonfiaggio e scolpiture anche ridotte, secondo le distribuzioni esposte in precedenza)



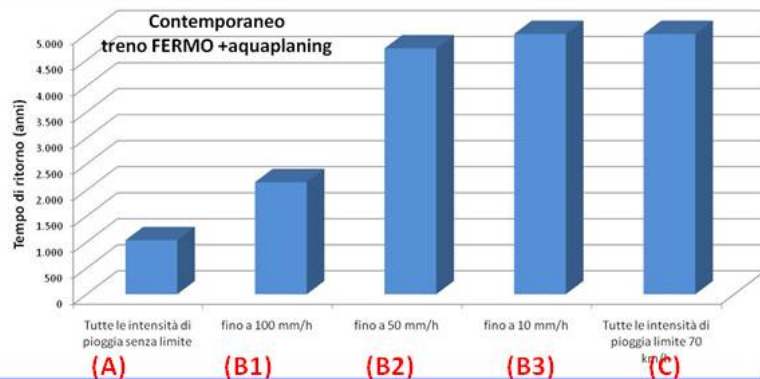
RISULTATI DEL CASO a)

Frequenza attesa

Frequenza e tempi di ritorno con cui si può determinare una situazione di aquaplaning su una delle due carreggiate per effetto della presenza di un treno fermo per guasto nel punto più critico della luce principale del ponte



Tempi di ritorno



| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



Nei diagrammi precedenti (ed in quelli successivi) sono riportate le frequenze (ed i Tempi di ritorno) in diverse condizioni:

- A. considerando di mantenere operativa la circolazione sul Ponte indipendentemente dall'intensità di pioggia (NB: per intensità di 100 mm/h le condizioni di visibilità sono tali che i veicoli riducono spontaneamente la velocità – i tergicristalli non riescono a tenere pulito il parabrezza – di questo comportamento non si è tenuto conto)
- B. considerando di chiudere la circolazione stradale sul Ponte in presenza di un'intensità di pioggia superiore a 100 mm/h (B1) oppure di 50 mm/h (B2) oppure di 10 mm/h (B3)
- C. considerando, infine, di ridurre il limite di velocità imposto sul Ponte a 70 km/h quando piove con una intensità di pioggia oltre un certo limite

I risultati ottenuti evidenziano che la frequenza annua attesa con cui si possono verificare le condizioni di innesco del fenomeno di aquaplaning nelle condizioni esposte è inferiore a 1×10^{-3} (tempi di ritorno di 1.000 anni circa) anche nel caso di mantenere aperta la circolazione sul ponte in presenza di qualsiasi intensità di pioggia.

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



CASO b) - Scenario 2.a

probabilità di innesco di fenomeni di aquaplaning nella carreggiata stradale e nella corsia più critica per quanto riguarda il fenomeno dell'aquaplaning, in occasione del transito di un treno sul Ponte di qualunque tipo (con probabilità proporzionale alla presenza % nella mix di traffico ferroviario di ciascun tipo di treno), in concomitanza di un evento piovoso di intensità qualunque, con veicoli che transitano con velocità superiori alla velocità di aquaplaning (secondo la curva di distribuzione riportata in precedenza) e con pneumatici di tutti i tipi (con la probabilità di avere pressioni di gonfiaggio e scolpiture anche ridotte, secondo le distribuzioni esposte in precedenza)

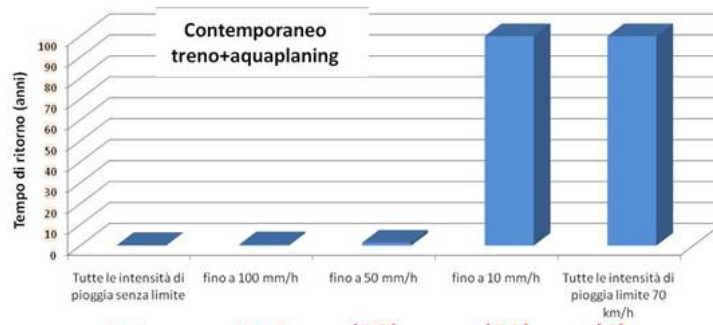
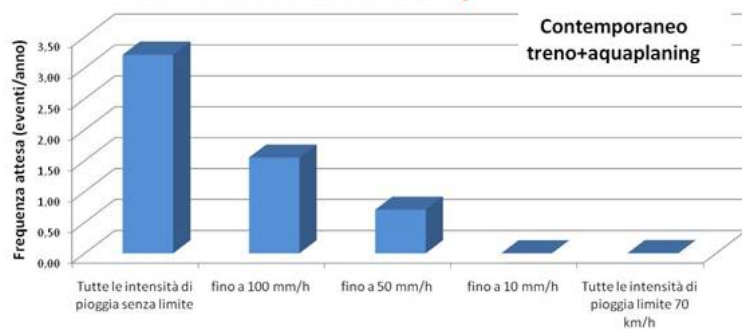
| | | | | |
|---|---|---|--------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 | |



Frequenza attesa

Frequenza e tempi di ritorno con cui si può determinare una situazione di aquaplaning su una delle due carreggiate per effetto del passaggio di un treno

RISULTATI DEL CASO b)



Tempi di ritorno

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



In questo caso i risultati ottenuti evidenziano che la frequenza annua attesa con cui si possono verificare le condizioni di innesco del fenomeno di aquaplaning nelle condizioni esposte è pari a circa 3,2 eventi/anno (tempi di ritorno inferiori all'anno), che scende a 0,7 circa eventi/anno (tempi di ritorno di 1,4 anni), nell'ipotesi di chiudere la circolazione sul ponte con piogge superiori a 50 mm/h . La frequenza scende a 5×10^{-3} eventi/anno (tempi di ritorno di 200 anni) se si ipotizza di ridurre il limite di velocità in presenza di pioggia intensa a 70 km/h

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



CASO c) - Scenario 2.a con controllo Pp (pressione di gonfiaggio dei pneumatici)

probabilità di innesco di fenomeni di aquaplaning nella carreggiata stradale e nella corsia più critica per quanto riguarda il fenomeno dell'aquaplaning, in occasione del **transito sul Ponte di un treno** di qualunque tipo (con probabilità proporzionale alla presenza % nella mix di traffico ferroviario di ciascun tipo di treno), in concomitanza di un evento piovoso di intensità qualunque, con veicoli che transitano con velocità superiori alla velocità di aquaplaning (secondo la curva di distribuzione riportata in precedenza) e con **pneumatici la cui pressione di gonfiaggio viene controllata da sistemi di autodiagnosi dei veicoli** (situazione standard prevedibile al tempo di apertura al traffico del Ponte in considerazione del fatto che tale dispositivi sono già in dotazione di alcune vetture come "optional"). I valori di profondità di scolpitura sono invece mantenuti invariati rispetto alle distribuzioni esposte in precedenza.

(Si rammenta che la pressione di gonfiaggio dei pneumatici è l'elemento che maggiormente influenza il fenomeno dell'aquaplaning)

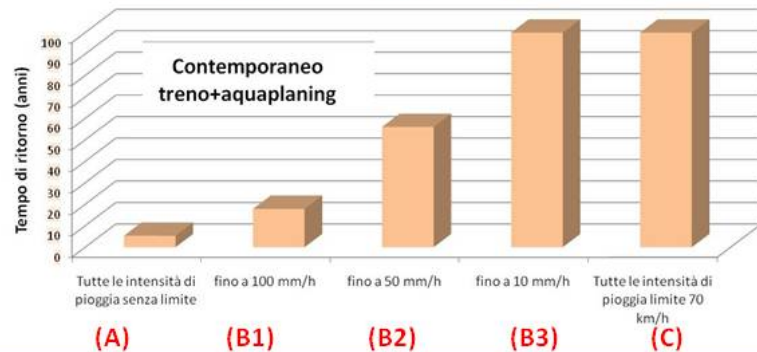
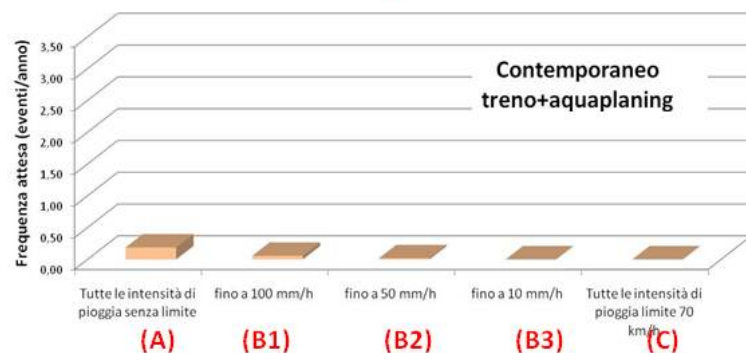
| | | | | |
|---|---|---|-----------|--------------------|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | | Codice documento GEV0056_F0.doc | Rev F0 | Data 31/05/2012 |



RISULTATI DEL CASO c)

Frequenza attesa

Frequenza e tempi di ritorno con cui si può determinare una situazione di aquaplaning su una delle due carreggiate per effetto del passaggio di un treno nell'ipotesi che la pressione dei pneumatici non scenda mai al di sotto di 200 kPa



Tempi di ritorno

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



Nel caso in cui si ipotizzi che la pressione dei pneumatici non scenda mai al disotto di 200 kPa (grazie alla presenza di sistemi di autodiagnosi nei veicoli) la frequenza annua attesa con cui si possono verificare le condizioni di innesco del fenomeno di aquaplaning nelle condizioni esposte è pari a circa 0,2 eventi/anno (tempi di ritorno di 5 anni circa) anche nell'ipotesi di mantenere la circolazione stradale sul Ponte sempre aperta, indipendentemente dall'intensità degli eventi piovosi in atto.

La riduzione del limite di velocità a 70 km/h potrà incrementare il TR a oltre 3.000 anni

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



Per valutare la rilevanza del fenomeno è stata anche valutata la frequenza annua complessiva di possibili eventi di aquaplaning sia in presenza che in assenza del passaggio di treni, con pneumatici con o senza sistemi di autodiagnosi della pressione di gonfiaggio :

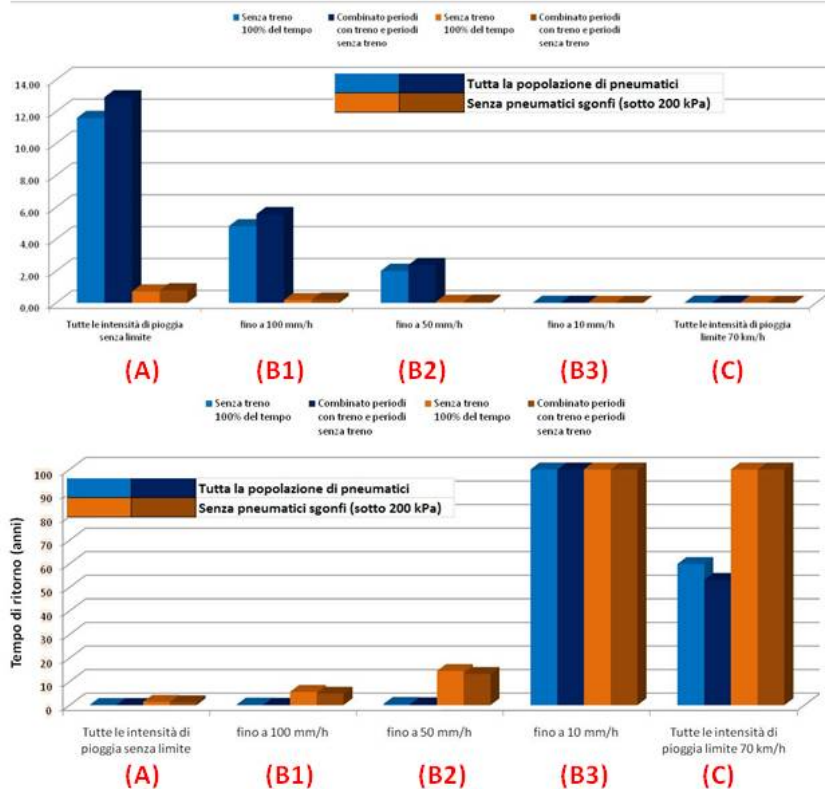
Questa condizione di calcolo è stata assunta per evidenziare che il passaggio di treni sul ponte incrementa solo di poco la tendenza al manifestarsi di fenomeni di aquaplaning in caso di pioggia intensa.



Frequenza attesa

Frequenza attesa e tempi di ritorno con cui si può determinare una situazione di aquaplaning su una delle due carreggiate del ponte sia in presenza che in assenza del passaggio di treni, nell'ipotesi che la pressione dei pneumatici sia controllata o no

Tempi di ritorno



| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



Dai risultati esposti risulta evidente che la frequenza attesa di situazioni che possono indurre fenomeni di aquaplaning sulle due carreggiate stradali del ponte è solo limitatamente influenzata dal passaggio di treni: infatti, senza tener conto del treno, la frequenza attesa è pari a 11,6 eventi/anno; il passaggio dei treni incrementa tale frequenza solo del 10% circa.

Giova però ricordare che il rischio di aquaplaning si manifesta in qualche modo in tutte le infrastrutture stradali e che l'innescò di un fenomeno di aquaplaning non evolve quasi mai in incidenti. Molte situazioni di innescò di aquaplaning si risolvono senza neanche la consapevolezza del guidatore.

Nel caso specifico in esame, l'esposizione al rischio di aquaplaning è incrementata dal valore di progetto adottato per la pendenza trasversale della carreggiata stradale (2% anziché 2,5% come prescritto dalla normativa) e potrà essere ridotta dall'adozione di un valore di macrotessitura della pavimentazione orientato verso i valori più alti di specifica.

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



CONCLUSIONI (1 di 4)

- 1. Il rischio di innesco del fenomeno di aquaplaning sul Ponte in conseguenza della variazione delle pendenze trasversali o longitudinali indotte dal traffico stradale e ferroviario, in condizioni di circolazione normali o di emergenza, è limitato. I fenomeni di variazione dell'assetto delle due carreggiate stradali conseguenti alla deformabilità sotto carico della struttura del ponte incrementano, nei casi analizzati, del 10% circa l'esposizione al rischio di aquaplaning a cui l'Opera di attraversamento stabile dello Stretto di Messina è comunque soggetta. Giova ricordare che il rischio di aquaplaning si manifesta in qualche modo in tutte le infrastrutture stradali e che l'innesco di un fenomeno di aquaplaning non evolve quasi mai in incidenti. Molte situazioni di innesco di aquaplaning si risolvono senza neanche la consapevolezza del guidatore.**

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



CONCLUSIONI (2 di 4)

2. L'esposizione al rischio di aquaplaning sul ponte potrà essere ridotta dall'adozione di un valore di macrotessitura della pavimentazione orientato verso i valori più elevati di specifica;
3. L'esposizione al rischio di aquaplaning potrà essere controllata efficacemente modificando il limite di velocità imposto sul ponte da 80 km/h (situazione corrente) a 70 km/h in presenza di piogge di forte intensità. Il valore dell'intensità di pioggia oltre il quale potrà essere prevista la riduzione del limite di velocità è compreso tra 10 e 50 mm/h e potrà essere valutato con maggiore precisione nel corso dell'elaborazione del PE;

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



CONCLUSIONI (segue 3 di 4)

4. Al momento dell'entrata in esercizio del ponte è assai probabile che i veicoli stradali saranno equipaggiati di serie con sistemi di controllo in continuo della pressione di gonfiaggio dei pneumatici (mediante strumentazioni di autodiagnosi oggi previste solo come "optional"), che è il principale responsabile dell'insorgere di condizioni di aquaplaning in presenza di elevati spessori di velo idrico sulla pavimentazione.

Le valutazioni svolte dimostrano che, se tali sistemi potranno evitare che i veicoli viaggino con pneumatici con pressioni di gonfiaggio inferiori a 200 kPa (valore già più basso del valore medio delle pressioni di gonfiaggio richieste dalle case costruttrici per i pneumatici anteriori), la frequenza attesa di fenomeni di aquaplaning sul ponte anche in presenza di piogge di intensità rilevantissima (100 mm/h) potrà ridursi a 0,2 eventi attesi/anno (TR=5 anni) senza interventi specifici di regolazione della circolazione stradale. La riduzione del limite di velocità a 70 km/h potrà incrementare il TR a oltre 3.000 anni

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|--|
|  |  | Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO | | |
| Analisi del rischio di aquaplaning sull'opera di attraversamento | <i>Codice documento</i> GEV0056_F0.doc | <i>Rev</i> F0 | <i>Data</i> 31/05/2012 | |



CONCLUSIONI (segue 4 di 4)

5. In occasione dello sviluppo del PE sarà opportuno indagare l'ulteriore scenario di traffico che prevede il transito di un convoglio ferroviario sul Ponte in occasione di un blocco della circolazione stradale sulla carreggiata adiacente al binario caricato (scenario di traffico 2.b). La frequenza di presentazione di questa situazione è molto bassa (v. Dia 19) ma questo scenario potrebbe presentare elementi di criticità superiori a quelli degli scenari analizzati in questa sede.