

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 Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n° 20355 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>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>
--	--	---	--

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA	CS0072_F0
<i>Tipo di sistema</i>	PARTE GENERALE STRADALE	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	OPERE CIVILI	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	TRACCIAMENTO PLANO-ALTIMETRICO SEZIONI E GEOMETRIA CORPO STRADALE	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	C	G	S	T	5	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	B. LO GIUDICE	G. SCIUTO	F. COLLA

INDICE

INDICE	2
Parte 1: viabilità principale e rami di svincolo versante Calabria	3
1.1 Traffico di progetto	4
1.2 Condizioni climatiche di riferimento	5
1.3 Caratteristiche prestazionali dei materiali	6
1.4 Dimensionamento della pavimentazione con usura drenante	9
1.5 Dimensionamento della pavimentazione in galleria	10
1.6 Verifica delle pavimentazioni di progetto	11
Considerazioni sulla viabilità principale versante Calabria	16
Allegato 1.1 – Dati meteorologici di progetto	18
Allegato 1.2 – Verifica dei tipologici stratigrafici di progetto	21
Allegato 1.3 – Verifica dei tipologici stratigrafici di progetto in galleria	26
Parte 2: viabilità minore versante Calabria	31
2.1 Traffico di progetto	32
2.2 Condizioni climatiche di riferimento	33
2.3 Caratteristiche prestazionali dei materiali	34
2.4 Dimensionamento della pavimentazione con usura tradizionale	37
2.5 Verifica della pavimentazione di progetto	37
Considerazioni sulla viabilità minore versante Calabria	42
Allegato 2.1 – Dati meteorologici di progetto	43
Allegato 2.2 – Verifica dei tipologici stratigrafici di progetto	46

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Parte 1: viabilità principale e rami di svincolo versante Calabria

La presente Relazione Tecnica, redatta nell'ambito della progettazione dell'infrastruttura stradale per le opere di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina, descrive il dimensionamento strutturale delle pavimentazioni sui rami principali versante Calabria, relativamente a quanto indicato nelle Specifiche Tecniche di progettazione (cod. documento "GCG.F.03.02").

L'approccio utilizzato per lo sviluppo del dimensionamento è di tipo empirico-meccanicistico e si basa sulla valutazione dello stato tenso-deformativo che si instaura nella sovrastruttura stradale, al variare delle sue caratteristiche geometriche e compositive, per effetto di uno schema di carico di progetto prestabilito. In questo modo, è possibile relazionare la capacità portante dei modelli meccanico-stratigrafici considerati a variabili di progetto fondamentali quali il traffico sollecitante, le condizioni climatiche di esercizio e le caratteristiche prestazionali dei materiali, fortemente variabili con la temperatura in alcuni di questi a causa della forte suscettività termica che li caratterizza.

Lo scenario di riferimento considerato (condizioni di traffico, tipologia e spessore degli strati) per le tratte a cielo aperto, in accordo con quanto stabilito nelle Specifiche Tecniche di progettazione, è quello definito nel Catalogo delle pavimentazioni stradali del CNR, bollettino 178/95. Le soluzioni progettuali proposte prevedono l'utilizzo della tecnologia del drenante per la realizzazione dello strato di usura della pavimentazione, salvo che in galleria, dove è prevista la messa in opera di un conglomerato di usura tradizionale chiuso.

Le verifiche condotte sulle configurazioni di progetto si basano sull'implementazione di appositi modelli prestazionali che valutano il comportamento della sovrastruttura, nella vita utile di esercizio considerata, nei riguardi della fatica e delle deformazioni permanenti.

Sono parte integrante della presente relazione gli allegati tecnici relativi alla verifica strutturale dei pacchetti indicati in progetto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1.1 Traffico di progetto

La definizione del traffico che la pavimentazione dovrà sopportare nel corso della vita utile di progetto, il quale per sua natura è estremamente eterogeneo, è stata ottenuta attraverso un processo di omogeneizzazione che considera singolarmente la magnitudine dei carichi applicati, la configurazione dei carichi stessi (numero di assi e geometria delle superfici di impronta) ed il numero totale di ripetizioni di carico. Tale processo, formulato in maniera del tutto analoga a quella che caratterizza diversi metodi di dimensionamento tra i quali l'AASHTO Guide, permette di ricondurre l'intero traffico di progetto (caratterizzato da un proprio spettro di veicoli) ad un numero di passaggi di una configurazione di carico convenzionale, denominati "assi equivalenti".

Il concetto di traffico "equivalente" si basa sul presupposto di ricavare quel numero di ripetizioni di un determinato asse di carico che, in termini di danneggiamento a fatica dei materiali, produce nella pavimentazione lo stesso effetto causato dall'insieme delle sollecitazioni prodotte dai singoli veicoli costituenti l'intero spettro di traffico. Ai fini della verifica strutturale della pavimentazione, il traffico equivalente di progetto è stato determinato considerando come asse di riferimento (Equivalent Standard Axle Load) l'asse singolo a ruote gemelle da 80 KN.

Il volume di traffico considerato ai fini del dimensionamento della pavimentazione è quello richiamato nelle Specifiche Tecniche di progettazione, ossia 45.000.000 di mezzi commerciali distribuiti secondo lo spettro competente alle autostrade extraurbane. Il corrispondente numero di assi standard da 80 KN di progetto è stato calcolato a partire dalla composizione e dalla distribuzione di traffico indicate nel bollettino 178/95, assumendo un coefficiente di equivalenza veicoli commerciali/n. assi equivalenti da 80 KN pari a 2.5.

Il numero di assi da 80 KN di progetto, ottenuto moltiplicando il numero totale di veicoli pesanti per il coefficiente di equivalenza sopra indicato, è pari a 112.500.000 (*traffico di progetto unidirezionale*).

Tabella 1 – Ripartizione mensile degli assi equivalenti da 80 KN di progetto

MESE	N. assi da 80 KN di progetto
GENNAIO	9.554.795
FEBBRAIO	8.630.137
MARZO	9.554.795
APRILE	9.246.575
MAGGIO	9.554.795
GIUGNO	9.246.575
LUGLIO	9.554.795

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

AGOSTO	9.554.795
SETTEMBRE	9.246.575
OTTOBRE	9.554.795
NOVEMBRE	9.246.575
DICEMBRE	9.554.795
TOTALE	112.500.000

1.2 Condizioni climatiche di riferimento

Le caratteristiche meccaniche e prestazionali degli strati in conglomerato bituminoso di una pavimentazione, a causa della natura viscoelastica del bitume, variano sensibilmente con la temperatura di esercizio. Per questa ragione, al fine di poter analizzare nel dettaglio il danno a fatica subito dalla pavimentazione selezionando correttamente i parametri geomeccanici per i materiali considerati, l'analisi tenso-deformativa non può prescindere da condizioni climatiche di riferimento definite con una prestabilita frequenza temporale all'interno dell'anno solare.

Le temperature dell'aria prese in considerazione sono i valori medi mensili, intesi come medie della temperatura massima e minima di ciascun mese dell'anno, registrati su base storica 1973-2010 nella stazione meteorologica di Reggio di Calabria. Si segnala che i dati così acquisiti sono del tutto coerenti con quelli riportati nei documenti tecnici del Progetto Preliminare (cod. documento PP2R-A25), i quali però si riferiscono ad un periodo storico precedente (1940-1974).

Con riferimento alle tratte a cielo aperto, le temperature di riferimento della pavimentazione sono state ricavate, a partire da quelle dell'aria, attraverso due formulazioni alternative riportate in letteratura e proposte rispettivamente da Barker (1) e Marchionna (2):

$$T_{pm} = 1.2 \cdot T_{am} + 3.2 \quad (1)$$

dove:

T_{pm} = temperatura media mensile del pacchetto legato a bitume;

T_{am} = temperatura media mensile dell'aria;

$$T_{pm}(z) = (1.467 + 0.043z) + (1.362 - 0.005z) \cdot T_{am} \quad (2)$$

dove:

$T_{pm}(z)$ = temperatura media mensile della pavimentazione alla profondità z ;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

T_{am} = temperatura media mensile dell'aria.

Tabella 2 – Temperature medie mensili di riferimento

MESE	T Aria [°C]	T Pav [°C]	T Pav [°F]
GENNAIO	11,8	17,4	63
FEBBRAIO	11,8	17,4	63
MARZO	13,4	19,3	67
APRILE	15,5	21,8	71
MAGGIO	19,6	26,7	80
GIUGNO	23,8	31,8	89
LUGLIO	26,9	35,5	96
AGOSTO	27,2	35,8	97
SETTEMBRE	24,0	32,0	90
OTTOBRE	20,4	27,7	82
NOVEMBRE	16,3	22,8	73
DICEMBRE	13,2	19,0	66

Le temperature di progetto della pavimentazione sopra indicate, e selezionate ai fini progettuali per le tratte a cielo aperto, sono quelle risultanti dalla legge di Barker, visto che questa configura mediamente un regime termico più gravoso rispetto a quello definito con la legge di Marchionna per una profondità z convenzionalmente assunta pari a 20 mm. I valori di riferimento così calcolati, espressi in ° Celsius e in ° Fahrenheit, sono stati utilizzati per determinare la rigidità (modulo elastico E) degli strati in conglomerato bituminoso nei vari mesi dell'anno. Per quanto riguarda invece le tratte in galleria, tenuto conto dell'assenza di irraggiamento diretto della superficie stradale, dell'assenza di precipitazioni e della rottura termica portata verso gli strati di fondazione dalla calotta in calcestruzzo, si sono adottate come temperature di progetto della pavimentazione le medie mensili di riferimento in aria.

In Allegato 1.1 sono riportati i dati meteorologici mensili della stazione di riferimento, determinati su base 1973-2010, nonché i corrispondenti valori della temperatura di progetto nella pavimentazione.

1.3 Caratteristiche prestazionali dei materiali

Per la definizione delle proprietà geomeccaniche dei materiali costituenti le pavimentazioni di progetto sono stati considerati alcuni valori di riferimento tratti dalla bibliografia di settore, opportunamente rimodulati sulla scorta delle nozioni riportate in letteratura tecnica e delle esperienze maturate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il dimensionamento della pavimentazione, di cui si dettaglia nelle sezioni 1.4 e 1.5 della presente Relazione Tecnica, è stato strutturato in modo tale da considerare le caratteristiche prestazionali dei singoli strati in conglomerato bituminoso, tenendo conto peraltro dei limiti di accettabilità riportati nei principali riferimenti normativi di settore. Alla temperatura di 20 °C, i valori del modulo elastico di Young e del rapporto di Poisson assunti nelle configurazioni di progetto sono quelli di Tabella 3, relativamente alle opere di collegamento versante Calabria che servono i transiti da/per la Sicilia.

Tabella 3 – Parametri geomeccanici di progetto per i collegamenti versante Calabria

ID strato	E [MPa] @20°C	v @20°C
Usura drenante	1500	0.35
Usura chiusa	4500	0.35
Binder	4500	0.35
Base	4500	0.35
Misto cementato	2000	0.30
Sottofondo	150	0.35

Per quanto riguarda gli strati in conglomerato bituminoso, i moduli elastici indicati in Tabella 3 sono stati corretti alle temperature mensili della pavimentazione calcolate in precedenza attraverso la seguente relazione proposta dall'Asphalt Institute:

$$E = 10^{a \cdot (T_{ref}^2 - T^2)} \cdot E_{ref} \quad (3)$$

dove:

E = modulo elastico (MPa) alla temperatura di 20°C;

E_{ref} = modulo elastico (MPa) corretto alla temperatura di riferimento mensile della pavimentazione;

T = 68 °F (20 °C);

T_{ref} = temperatura di riferimento mensile della pavimentazione espressa in °F;

a = coefficiente che dipende dalla natura del conglomerato bituminoso e che può essere assunto pari a 0.0001.

Per quanto riguarda invece gli strati di fondazione (Misto Cementato) e di sottofondo (STF), si intende che questi, per ovvie ragioni di natura strutturale e funzionale, non siano sensibili in misura apprezzabile a variazioni termo-igrometriche dell'ambiente di inserimento delle pavimentazioni di progetto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nella tabella sottostante, in relazione alla variabilità delle caratteristiche prestazionali del conglomerato bituminoso con le temperature e le condizioni climatiche ipotizzate, si riportano in modo schematico ed esemplificativo i moduli elastici adottati per ciascun mese di verifica relativamente alle tratte a cielo aperto.

Tabella 4 – Moduli elastici [MPa] della pavimentazione corretti alle temperature mensili di riferimento

MESE	Collegamenti versante Calabria					
	Usura dren	Usura chiusa	Binder	Base	MC	STF
GENNAIO	1732	5195	5195	5195	2000	150
FEBBRAIO	1732	5195	5195	5195	2000	150
MARZO	1562	4685	4685	4685	2000	150
APRILE	1352	4056	4056	4056	2000	150
MAGGIO	993	2979	2979	2979	2000	150
GIUGNO	697	2092	2092	2092	2000	150
LUGLIO	524	1573	1573	1573	2000	150
AGOSTO	509	1528	1528	1528	2000	150
SETTEMBRE	685	2055	2055	2055	2000	150
OTTOBRE	931	2793	2793	2793	2000	150
NOVEMBRE	1277	3830	3830	3830	2000	150
DICEMBRE	1582	4747	4747	4747	2000	150

I moduli elastici degli strati in conglomerato bituminoso sono rappresentativi di miscele ottenute attraverso l'impiego di bitumi ordinari, come meglio chiarito nel Capitolato Speciale d'Appalto fornito insieme alla presente. Il modulo elastico attribuito allo strato di fondazione in misto cementato è intermedio rispetto a quello che si può avere tipicamente in condizioni di esercizio con totale fessurazione (≈ 1000 MPa) e quello caratterizzante un materiale messo in opera ex novo (≈ 3000 MPa). Il modulo elastico del sottofondo è, infine, indice di ottime caratteristiche meccaniche e conforme alle Specifiche Tecniche di progettazione. Si sottolinea come il modulo assegnato allo strato di sottofondo debba necessariamente essere assicurato per le tratte a cielo aperto in rilevato, preparando in modo idoneo il piano di posa della pavimentazione. Per quanto riguarda invece le tratte a cielo aperto in trincea, si dovrà provvedere se necessario all'adeguamento delle caratteristiche meccaniche del terreno presente in sito tramite un processo di stabilizzazione o

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

eventualmente interponendo fra lo stesso terreno e la sovrastruttura uno strato in misto granulare stabilizzato con funzione di rinforzo.

Si segnala che, in merito ai valori dei rapporti di Poisson precedentemente definiti in Tabella 3, è ragionevole che questi vengano mantenuti costanti nel corso delle verifiche in considerazione del fatto che le variazioni di tale parametro hanno un effetto modesto sullo stato tenso-deformativo della pavimentazione.

1.4 Dimensionamento della pavimentazione con usura drenante

Il dimensionamento è stato sviluppato coerentemente con le ipotesi previste nelle Specifiche Tecniche di progettazione. La configurazione di base per il primo proporzionamento delle pavimentazioni è dunque, per le tratte a cielo aperto, quella indicata come 1SR nel Catalogo delle pavimentazioni stradali del CNR, la quale risulta in uno spessore complessivo di cm 57 ripartiti fra gli strati in conglomerato bituminoso (drenante cm 6, binder cm 7+2, base cm 12) e di fondazione (misto cementato cm 30).

La soluzione di progetto è stata individuata al termine di un processo di ottimizzazione della sezione di primo dimensionamento, introducendo le caratteristiche dei singoli strati legati a bitume e modellando opportunamente lo stato di collaborazione in prossimità delle interfacce usura/binder, binder/base e base/fondazione.

Tabella 5 – Soluzione meccanico-stratigrafica di progetto a cielo aperto

Est Cal	Usura drenante	6	1500	0.35
	Binder	9	4500	0.35
	Base	12	4500	0.35
	MC	30	2000	0.30
	Sottofondo	n.d.	150	0.35
Spessore totale		57		

Si fa notare che lo spessore complessivo di progetto è invariato rispetto a quello relativo al primo dimensionamento, e inoltre che è sufficiente prevedere l'utilizzo di leganti bituminosi di tipo ordinario per il raggiungimento delle caratteristiche meccaniche di portanza necessarie e per evitare fenomeni di rottura a livello dello strato di base. Tale scelta progettuale è compatibile con il regime termico piuttosto elevato che ha caratterizzato l'ambiente in cui verranno insediate le opere di progetto nel periodo storico documentato attraverso le banche dati disponibili, oltre che con le

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

esplicite indicazioni contenute nelle Specifiche Tecniche di progettazione circa l'utilizzo della tecnologia del drenante per la realizzazione dello strato di usura della pavimentazione.

In merito alla configurazione proposta si sottolinea che gli spessori assegnati sono rispondenti alla proposta contenuta nel Catalogo delle pavimentazioni del CNR e rappresentano i minimi necessari affinché non si manifestino rotture per fatica nello strato di base prima del superamento della vita utile di esercizio.

Si segnala infine che sulle opere principali in sopraelevazione (viadotti) può essere adottata in fase di predimensionamento una soluzione in conglomerato bituminoso del tutto analoga a quella mostrata in Tabella 5, ovvero costituita da 6 cm di usura drenante e 6 cm di binder, prevedendo comunque una impermeabilizzazione con cappa di asfalto sintetico dello spessore di 1 cm fra l'impalcato e lo strato inferiore della pavimentazione. Grazie allo spessore del tappeto drenante suggerito, è possibile assicurare la continuità del sistema di allontanamento delle acque meteoriche dalla superficie della sovrastruttura già progettato per le sezioni a cielo aperto tradizionali.

1.5 Dimensionamento della pavimentazione in galleria

L'adozione in galleria di un manto di usura tradizionale chiuso, nonché la presenza di condizioni meteorologiche meno aggressive nei riguardi della sovrastruttura stradale, comporta una variazione della soluzione progettuale già illustrata, pur tenendo presente che anche per questa specifica tipologia di sezione è previsto l'inserimento di uno strato di fondazione in misto cementato.

In seguito alle dettagliate e particolareggiate verifiche svolte, la sovrastruttura dei tratti in galleria presenti nei rami principali di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina risulta essere dimensionata come illustrato nel seguito, con uno spessore complessivo pari a 48 cm. Si ha dunque una variazione di spessore di 9 cm, rispetto alla soluzione progettuale descritta nella precedente sezione 1.4, e per quanto riguarda le proprietà strutturali che devono competere agli strati in conglomerato bituminoso si registra sostanzialmente il mantenimento del livello precedentemente imposto.

Tabella 6 – Soluzione meccanico-stratigrafica di progetto in galleria

#	ID strato	h [cm]	E [MPa] @20°C	v @20°C
Gal	Usura chiusa	6	4500	0.35

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Cal	Binder	7	4500	0.35
	Base	10	4500	0.35
	MC	25	2000	0.30
	Riempimento	var.	150	0.35
Spessore totale		48		

Si noti come, a differenza delle tratte a cielo aperto, in galleria lo spessore degli strati legati è complessivamente minore, per aver configurato un regime termico più favorevole in ragione dei fenomeni evidenziati nella sezione 1.2. La soluzione sopra individuata riproduce fedelmente quanto raccomandato nel Catalogo CNR per autostrade extraurbane a forte traffico.

Si osserva ancora che lo strato di fondazione in misto cementato è poggiato sul terreno di riempimento dell'arco rovescio, la cui profondità rispetto al piano della pavimentazione varia da un minimo di 60÷80 cm sui piedritti fino ad un massimo di circa 160 cm in mezzeria.

1.6 Verifica delle pavimentazioni di progetto

La verifica dei dimensionamenti proposti è stata svolta con approccio empirico-meccanicistico, ovvero analizzando lo stato tenso-deformativo della pavimentazione soggetta al traffico sollecitante ed applicando opportune leggi di danno. Il modello utilizzato per schematizzare la pavimentazione è quello del multistrato elastico poggiato su uno strato di spessore semi-infinito a comportamento elastico, isotropo ed omogeneo.

Il calcolo delle tensioni e deformazioni è stato effettuato attraverso il software KENPAVE sviluppato dal Prof. Yang. H. Huang del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università del Kentucky, il quale permette di modellare la pavimentazione oggetto di verifica secondo le ipotesi sopra richiamate. Lo stato tensionale della pavimentazione, ed il conseguente danno per fatica e per ormaimento, è stato valutato con le configurazioni di progetto sopra illustrate per ciascun mese di riferimento. Il danno cumulato su tutto l'arco temporale di vita utile è stato quindi verificato attraverso la legge di Miner, stando alla quale deve risultare $D_{DL} < 1$ (nel caso in esame D_{DL} è il danno cumulato dopo il transito di 45.000.000 di mezzi pesanti).

Vengono nel seguito descritti i parametri di sollecitazione e/o deformazione e i modelli prestazionali adottati in fase di verifica per ogni strato costituente la pavimentazione in oggetto. Poiché tali modelli derivano da studi empirici eseguiti sul campo e quindi caratterizzati da condizioni al contorno anche diverse tra loro, la verifica è stata effettuata analizzando i risultati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ottenuti da diverse leggi con il regime di sollecitazione prefigurato e considerando le risultanze più cautelative.

FESSURAZIONE DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO

I punti di controllo della formazione di fessure nel conglomerato bituminoso sono a livello delle interfacce binder/base e base/fondazione. Il parametro da considerare ai fini della verifica a fatica è la massima deformazione orizzontale di trazione, $\varepsilon_{t,max}$.

Una volta individuata la deformazione di trazione sulle interfacce di separazione del conglomerato bituminoso suddette, la stima del numero di ripetizioni di carico che gli strati legati a bitume potranno sopportare prima di evidenziare ammaloramenti, quindi anche del danno subito, è stata effettuata attraverso alcune leggi di fatica che considerano diversamente l'influenza sulla vita residua del livello di deformazione raggiungibile nella pavimentazione e delle sue proprietà meccaniche:

$N_f = 1.467 \cdot 10^{-10} \cdot (\varepsilon_t)^{-4.2735}$	Autostrade (G & C)
$N_f = 0.0796 \cdot (\varepsilon_t)^{-3.291} \cdot (E_1)^{-0.854}$	Asphalt Institute
$N_f = 2.83 \cdot 10^{-6} \cdot (\varepsilon_t)^{-3.21}$	Minnesota
$N_f = 1.17 \cdot 10^{-10} \cdot (\varepsilon_t)^{-4.2735}$	Verstraeten mod.

in cui:

N_f = numero di ripetizioni di carico che causano rottura per fatica nella pavimentazione;

ε_t = deformazione di trazione alla base dello strato in conglomerato bituminoso considerato;

E_1 = modulo elastico equivalente degli strati in conglomerato bituminoso.

FESSURAZIONE DEL MISTO CEMENTATO

Il parametro da considerare ai fini della verifica a fatica è la massima sollecitazione orizzontale di trazione, $\sigma_{t,max}$.

Una volta individuata la sollecitazione di trazione (σ_R) che produce rottura per flessione sull'interfaccia di separazione dello strato di fondazione legato a cemento con il terreno sottostante, la stima della tensione limite che lo strato considerato può sostenere prima si manifestino ammaloramenti è stata effettuata attraverso un modello proposto da Giannini-Ferrari:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\sigma_N = \sigma_R \cdot (1 - H \cdot \log N)$$

in cui:

σ_N = tensione limite di rottura a trazione per flessione;

σ_R = tensione di trazione che provoca la rottura dopo N cicli di carico e scarico;

H = coefficiente compreso fra 0.04 e 0.05;

N = numero di cicli di carico di progetto.

DEFORMAZIONI PERMANENTI DEGLI STRATI NON LEGATI

I punti di controllo delle deformazioni permanenti sotto la sovrastruttura sono a livello delle interfacce base/fondazione e fondazione/sottofondo. Il parametro da considerare ai fini della verifica a ormaiamento è la massima deformazione verticale di compressione, $\epsilon_{z,max}$.

I modelli utilizzati per il calcolo della vita utile in funzione di $\epsilon_{z,max}$, quindi finalizzati alla prevenzione di irregolarità sul piano viabile dovute ad ormaiamento strutturale del sottofondo o a problemi costitutivi degli strati legati a bitume, sono i seguenti:

$$N = 1.05 \cdot 10^{-7} \cdot (\epsilon_c)^4 \quad \text{Shell}$$

$$N = 1.365 \cdot 10^{-9} \cdot (\epsilon_c)^{4.477} \quad \text{Asphalt Institute}$$

$$N = 6.15 \cdot 10^{-7} \cdot (\epsilon_c)^4 \quad \text{AASHTO}$$

$$N = 5.19 \cdot 10^{-9} \cdot (\epsilon_c)^{4.230} \quad \text{Veverka-Verstraeten}$$

$$\sigma_c = \frac{0.006 \cdot E_0}{1 + 0.7 \cdot \log N} \quad \text{Kerhoven\&Dormon}$$

in cui:

N = numero di ripetizioni di carico che causano rottura per ormaiamento nella pavimentazione;

ϵ_c = deformazione di compressione in sommità dello strato non legato considerato;

σ_c = tensione di compressione in sommità dello strato non legato considerato.

Si precisa che la relazione di Kerhoven&Dormon sopra introdotta è stata elaborata appositamente per la verifica di strati di sottofondo, dei quali valuta la massima sollecitazione di compressione in corrispondenza dell'asse del carico applicato, pertanto le indicazioni da questa fornite per il misto granulare stabilizzato non sono state prese in considerazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Di seguito sono riportati i prospetti riepilogativi delle verifiche condotte, sia per la soluzione in galleria che per quella a cielo aperto.

Tabella 7 – Verifiche a fatica sugli strati di collegamento e di base

#	ID strato	Asphalt Institute	Autostrade (G&C)	Minnesota	Verstraeten mod.
Est Cal	Usura drenante				
	Binder	2.28E-01	2.87E-01	4.57E-01	3.60E-01
	Base	5.82E-01	3.64E-01	6.77E-01	4.57E-01
	MC				
	Sottofondo				

Tabella 8 – Verifiche a ormaiamento sugli strati portanti non legati

#	ID strato	Shell 95%	Asphalt Institute	AASHTO	Veverka-Verstraeten	Ker&Dor
Est Cal	Usura drenante					
	Binder					
	Base	2.90E-01	3.17E-01	4.95E-02	7.54E-01	
	MC	8.29E-03	5.90E-03	1.42E-03	1.75E-02	5.29E-18
	Sottofondo					

Tabella 9 – Verifiche a fatica sugli strati di collegamento e di base in galleria

#	ID strato	Asphalt Institute	Autostrade (G&C)	Minnesota	Verstraeten mod.
Gal Cal	Usura chiusa				
	Binder	1.17E-01	3.15E-02	9.72E-02	3.95E-02
	Base	9.80E-01	3.95E-01	6.62E-01	4.44E-01
	MC				
	Riempimento				

Tabella 10 – Verifiche a ormaiamento sugli strati portanti non legati in galleria

#	ID strato	Shell 95%	Asphalt Institute	AASHTO	Veverka-Verstraeten	Ker&Dor
Gal Cal	Usura chiusa					
	Binder					
	Base	1.98E-01	2.06E-01	3.38E-02	5.02E-01	
	MC	1.02E-02	7.40E-03	1.74E-03	2.18E-02	1.88E-17
	Riempimento					

$$\sigma_{N, \text{cielo aperto}} = 338.977 \text{ KPa} > \sigma_{\text{max}} = 117.470 \text{ KPa}$$

$$\sigma_{N, \text{galleria}} = 338.977 \text{ KPa} > \sigma_{\text{max}} = 123.766 \text{ KPa}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Dalle tabelle precedenti si evince che le soluzioni proposte risultano verificate in termini di prestazioni strutturali dei materiali, assicurando una ripartizione delle sollecitazioni adeguata sia all'interno della sovrastruttura che a livello del sottofondo e confinando eventuali rotture negli strati legati a bitume (in particolare lo strato di base). Si evidenzia al riguardo che le interfacce di separazione degli strati legati a bitume o a cemento sono state ritenute totalmente collaboranti, rimodulando all'occorrenza le proprietà meccaniche degli stessi strati, non soltanto per via dell'affinità dei materiali costituenti ma considerando anche il comportamento che la pavimentazione dovrebbe avere in esercizio.

In Allegato 1.2 e Allegato 1.3 vengono riportate nel dettaglio le risultanze della risposta tenso-deformativa alle sollecitazioni imposte dei singoli strati costituenti la sovrastruttura ed il relativo calcolo del danno per fatica ed ormaiamento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Considerazioni sulla viabilità principale versante Calabria

La presente Relazione Tecnica descrive il dimensionamento strutturale della pavimentazione delle opere di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina versante Calabria. Le configurazioni di progetto sono state ricercate attraverso un processo di ottimizzazione di uno scenario iniziale, che è quello illustrato nel Catalogo delle pavimentazioni stradali del CNR per autostrade extraurbane a traffico pesantissimo.

I modelli stratigrafico-meccanici proposti, nelle condizioni climatiche e di traffico considerate, risultano adeguati nei riguardi dei fenomeni di rottura per fatica ed ormaiamento relativamente alla vita utile di progetto, che corrisponde al transito di 45.000.000 di mezzi commerciali. Il quadro tenso-deformativo determinato evidenzia in particolare che il danno cumulato a livello degli strati in conglomerato bituminoso, tanto in galleria quanto nelle sezioni a cielo aperto, è superiore rispetto a quello che compete agli strati di fondazione e sottofondo, restando inteso che entrambi sono inferiori all'unità e pertanto accettabili. Ciò mostra come l'eventuale crisi della pavimentazione, per quanto remota, possa essere comunque circoscritta agli strati legati a bitume (in particolare lo strato di base) e si possa così evitare di intervenire nel tempo in modo radicale ed invasivo sugli strati più profondi. In ogni caso, è sempre assicurata una ragionevole riserva nei confronti del massimo consumo di capacità strutturale, che corrisponde alla crisi dell'opera.

Le soluzioni descritte prevedono l'utilizzo della tecnologia del drenante per la realizzazione dello strato di usura della pavimentazione, salvo che in galleria ove è prevista la messa in opera di un manto tradizionale chiuso, e l'impiego di leganti bituminosi di tipo ordinario per il confezionamento delle miscele bituminose.

Le caratteristiche costitutive dei materiali di progetto, per la cui definizione si rimanda al Capitolato Speciale d'Appalto ed al PMS, conferiscono agli strati legati (anche in virtù di quanto sopra evidenziato) elevati standard prestazionali di portanza e, per conseguenza, permettono di limitarne quanto più possibile gli spessori nel rispetto delle indicazioni fornite nelle Specifiche Tecniche di progettazione.

La qualità richiesta in termini strutturali agli strati di fondazione e di sottofondo è ragionevolmente alta, se si considera che le opere di progetto sono di nuova realizzazione, e deve intendersi come *requisito minimo* per il soddisfacimento delle verifiche strutturali. Si segnala comunque che la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

fondazione in misto cementato è stata rappresentata con parametri meccanici intermedi fra uno stato di perfetta integrità ed uno di completa fessurazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Allegato 1.1 – Dati meteorologici di progetto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge Asphalt Institute

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di base				Strato di fondazione			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	5,00E-05	1,09E+08	6,85E-03	6,85E-03	9,88E-05	1,16E+07	6,46E-02	6,46E-02
FEBBRAIO	675.068	5,00E-05	1,09E+08	6,18E-03	1,30E-02	9,88E-05	1,16E+07	5,84E-02	1,23E-01
MARZO	747.397	4,97E-05	1,21E+08	6,17E-03	1,92E-02	1,01E-04	1,18E+07	6,32E-02	1,86E-01
APRILE	723.288	4,90E-05	1,44E+08	5,04E-03	2,42E-02	1,04E-04	1,23E+07	5,90E-02	2,45E-01
MAGGIO	747.397	4,58E-05	2,34E+08	3,19E-03	2,74E-02	1,09E-04	1,33E+07	5,60E-02	3,01E-01
GIUGNO	723.288	3,91E-05	5,32E+08	1,36E-03	2,88E-02	1,16E-04	1,47E+07	4,92E-02	3,50E-01
LUGLIO	747.397	3,16E-05	1,37E+09	5,45E-04	2,93E-02	1,22E-04	1,60E+07	4,68E-02	3,97E-01
AGOSTO	747.397	3,07E-05	1,54E+09	4,85E-04	2,98E-02	1,23E-04	1,61E+07	4,64E-02	4,44E-01
SETTEMBRE	723.288	3,87E-05	5,59E+08	1,29E-03	3,11E-02	1,17E-04	1,48E+07	4,90E-02	4,93E-01
OTTOBRE	747.397	4,48E-05	2,66E+08	2,81E-03	3,39E-02	1,11E-04	1,36E+07	5,51E-02	5,48E-01
NOVEMBRE	723.288	4,86E-05	1,55E+08	4,66E-03	3,86E-02	1,05E-04	1,25E+07	5,80E-02	6,06E-01
DICEMBRE	747.397	4,98E-05	1,19E+08	6,26E-03	4,48E-02	1,01E-04	1,18E+07	6,33E-02	6,69E-01
TOTALI	8.800.000			4,48E-02	VERIFICATO			6,69E-01	VERIFICATO

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge Autostrade (G&C)

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di base				Strato di fondazione			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	5,00E-05	3,54E+08	2,11E-03	2,11E-03	9,88E-05	1,92E+07	3,90E-02	3,90E-02
FEBBRAIO	675.068	5,00E-05	3,54E+08	1,91E-03	4,02E-03	9,88E-05	1,92E+07	3,52E-02	7,42E-02
MARZO	747.397	4,97E-05	3,61E+08	2,07E-03	6,09E-03	1,01E-04	1,76E+07	4,25E-02	1,17E-01
APRILE	723.288	4,90E-05	3,84E+08	1,88E-03	7,98E-03	1,04E-04	1,57E+07	4,60E-02	1,63E-01
MAGGIO	747.397	4,58E-05	5,15E+08	1,45E-03	9,43E-03	1,09E-04	1,25E+07	6,00E-02	2,23E-01
GIUGNO	723.288	3,91E-05	1,01E+09	7,17E-04	1,01E-02	1,16E-04	9,55E+06	7,57E-02	2,98E-01
LUGLIO	747.397	3,16E-05	2,52E+09	2,97E-04	1,04E-02	1,22E-04	7,76E+06	9,63E-02	3,95E-01
AGOSTO	747.397	3,07E-05	2,84E+09	2,64E-04	1,07E-02	1,23E-04	7,60E+06	9,84E-02	4,93E-01
SETTEMBRE	723.288	3,87E-05	1,06E+09	6,85E-04	1,14E-02	1,17E-04	9,41E+06	7,68E-02	5,70E-01
OTTOBRE	747.397	4,48E-05	5,65E+08	1,32E-03	1,27E-02	1,11E-04	1,18E+07	6,31E-02	6,33E-01
NOVEMBRE	723.288	4,86E-05	3,99E+08	1,81E-03	1,45E-02	1,05E-04	1,51E+07	4,79E-02	6,81E-01
DICEMBRE	747.397	4,98E-05	3,60E+08	2,08E-03	1,66E-02	1,01E-04	1,78E+07	4,19E-02	7,23E-01
TOTALI	8.800.000			1,66E-02	VERIFICATO			7,23E-01	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge Minnesota

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di base				Strato di fondazione			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	5,00E-05	1,82E+08	4,11E-03	4,11E-03	9,88E-05	2,03E+07	3,67E-02	3,67E-02
FEBBRAIO	675.068	5,00E-05	1,82E+08	3,71E-03	7,83E-03	9,88E-05	2,03E+07	3,32E-02	6,99E-02
MARZO	747.397	4,97E-05	1,84E+08	4,05E-03	1,19E-02	1,01E-04	1,91E+07	3,92E-02	1,09E-01
APRILE	723.288	4,90E-05	1,93E+08	3,74E-03	1,56E-02	1,04E-04	1,75E+07	4,13E-02	1,50E-01
MAGGIO	747.397	4,58E-05	2,41E+08	3,10E-03	1,87E-02	1,09E-04	1,47E+07	5,08E-02	2,01E-01
GIUGNO	723.288	3,91E-05	3,99E+08	1,81E-03	2,05E-02	1,16E-04	1,21E+07	6,00E-02	2,61E-01
LUGLIO	747.397	3,16E-05	7,94E+08	9,42E-04	2,15E-02	1,22E-04	1,03E+07	7,25E-02	3,34E-01
AGOSTO	747.397	3,07E-05	8,68E+08	8,61E-04	2,23E-02	1,23E-04	1,02E+07	7,36E-02	4,07E-01
SETTEMBRE	723.288	3,87E-05	4,13E+08	1,75E-03	2,41E-02	1,17E-04	1,19E+07	6,06E-02	4,68E-01
OTTOBRE	747.397	4,48E-05	2,58E+08	2,89E-03	2,70E-02	1,11E-04	1,42E+07	5,27E-02	5,21E-01
NOVEMBRE	723.288	4,86E-05	1,99E+08	3,64E-03	3,06E-02	1,05E-04	1,70E+07	4,25E-02	5,63E-01
DICEMBRE	747.397	4,98E-05	1,84E+08	4,06E-03	3,47E-02	1,01E-04	1,93E+07	3,88E-02	6,02E-01
TOTALI	8.800.000			3,47E-02	VERIFICATO			6,02E-01	VERIFICATO

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge Verstraeten+Autostrade

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di base				Strato di fondazione			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	5,00E-05	2,82E+08	2,65E-03	2,65E-03	9,88E-05	1,53E+07	4,90E-02	4,90E-02
FEBBRAIO	675.068	5,00E-05	2,82E+08	2,40E-03	5,05E-03	9,88E-05	1,53E+07	4,42E-02	9,32E-02
MARZO	747.397	4,97E-05	2,87E+08	2,60E-03	7,65E-03	1,01E-04	1,40E+07	5,33E-02	1,47E-01
APRILE	723.288	4,90E-05	3,06E+08	2,37E-03	1,00E-02	1,04E-04	1,25E+07	5,78E-02	2,04E-01
MAGGIO	747.397	4,58E-05	4,10E+08	1,82E-03	1,18E-02	1,09E-04	9,92E+06	7,54E-02	2,80E-01
GIUGNO	723.288	3,91E-05	8,03E+08	9,01E-04	1,27E-02	1,16E-04	7,61E+06	9,51E-02	3,75E-01
LUGLIO	747.397	3,16E-05	2,00E+09	3,73E-04	1,31E-02	1,22E-04	6,18E+06	1,21E-01	4,96E-01
AGOSTO	747.397	3,07E-05	2,26E+09	3,31E-04	1,34E-02	1,23E-04	6,05E+06	1,24E-01	6,19E-01
SETTEMBRE	723.288	3,87E-05	8,40E+08	8,61E-04	1,43E-02	1,17E-04	7,50E+06	9,65E-02	7,16E-01
OTTOBRE	747.397	4,48E-05	4,50E+08	1,66E-03	1,60E-02	1,11E-04	9,43E+06	7,93E-02	7,95E-01
NOVEMBRE	723.288	4,86E-05	3,18E+08	2,28E-03	1,82E-02	1,05E-04	1,20E+07	6,02E-02	8,55E-01
DICEMBRE	747.397	4,98E-05	2,86E+08	2,61E-03	2,09E-02	1,01E-04	1,42E+07	5,26E-02	9,08E-01
TOTALI	8.800.000			2,09E-02	VERIFICATO			9,08E-01	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge Shell 95%

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MGS				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	3,91E-06	4,49E+14	1,66E-09	1,66E-09	1,04E-04	9,15E+08	8,17E-04	8,17E-04
FEBBRAIO	675.068	3,91E-06	4,49E+14	1,50E-09	3,17E-09	1,04E-04	9,15E+08	7,38E-04	1,55E-03
MARZO	747.397	4,13E-06	3,61E+14	2,07E-09	5,24E-09	1,06E-04	8,35E+08	8,95E-04	2,45E-03
APRILE	723.288	4,42E-06	2,75E+14	2,63E-09	7,87E-09	1,10E-04	7,28E+08	9,94E-04	3,44E-03
MAGGIO	747.397	4,97E-06	1,72E+14	4,34E-09	1,22E-08	1,18E-04	5,43E+08	1,38E-03	4,82E-03
GIUGNO	723.288	5,46E-06	1,18E+14	6,12E-09	1,83E-08	1,29E-04	3,85E+08	1,88E-03	6,70E-03
LUGLIO	747.397	5,74E-06	9,67E+13	7,73E-09	2,61E-08	1,38E-04	2,90E+08	2,57E-03	9,27E-03
AGOSTO	747.397	5,76E-06	9,54E+13	7,84E-09	3,39E-08	1,39E-04	2,82E+08	2,65E-03	1,19E-02
SETTEMBRE	723.288	5,48E-06	1,16E+14	6,21E-09	4,01E-08	1,29E-04	3,78E+08	1,91E-03	1,38E-02
OTTOBRE	747.397	5,07E-06	1,59E+14	4,70E-09	4,48E-08	1,20E-04	5,10E+08	1,47E-03	1,53E-02
NOVEMBRE	723.288	4,53E-06	2,49E+14	2,90E-09	4,77E-08	1,11E-04	6,92E+08	1,05E-03	1,63E-02
DICEMBRE	747.397	4,01E-06	4,06E+14	1,84E-09	4,96E-08	1,06E-04	8,44E+08	8,85E-04	1,72E-02
TOTALI	8.800.000			4,96E-08	VERIFICATO			1,72E-02	VERIFICATO

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge Asphalt Institute

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MGS				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	3,91E-06	2,22E+15	3,37E-10	3,37E-10	1,04E-04	9,47E+08	7,89E-04	7,89E-04
FEBBRAIO	675.068	3,91E-06	2,22E+15	3,04E-10	6,41E-10	1,04E-04	9,47E+08	7,13E-04	1,50E-03
MARZO	747.397	4,13E-06	1,74E+15	4,31E-10	1,07E-09	1,06E-04	8,54E+08	8,75E-04	2,38E-03
APRILE	723.288	4,42E-06	1,28E+15	5,65E-10	1,64E-09	1,10E-04	7,33E+08	9,87E-04	3,36E-03
MAGGIO	747.397	4,97E-06	7,58E+14	9,86E-10	2,62E-09	1,18E-04	5,28E+08	1,41E-03	4,78E-03
GIUGNO	723.288	5,46E-06	4,97E+14	1,45E-09	4,08E-09	1,29E-04	3,59E+08	2,01E-03	6,79E-03
LUGLIO	747.397	5,74E-06	3,98E+14	1,88E-09	5,96E-09	1,38E-04	2,62E+08	2,85E-03	9,64E-03
AGOSTO	747.397	5,76E-06	3,91E+14	1,91E-09	7,87E-09	1,39E-04	2,54E+08	2,95E-03	1,26E-02
SETTEMBRE	723.288	5,48E-06	4,89E+14	1,48E-09	9,34E-09	1,29E-04	3,52E+08	2,05E-03	1,46E-02
OTTOBRE	747.397	5,07E-06	6,93E+14	1,08E-09	1,04E-08	1,20E-04	4,92E+08	1,52E-03	1,62E-02
NOVEMBRE	723.288	4,53E-06	1,15E+15	6,30E-10	1,11E-08	1,11E-04	6,92E+08	1,04E-03	1,72E-02
DICEMBRE	747.397	4,01E-06	1,98E+15	3,77E-10	1,14E-08	1,06E-04	8,65E+08	8,64E-04	1,81E-02
TOTALI	8.800.000			1,14E-08	VERIFICATO			1,81E-02	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge AASHTO

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MGS				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	3,91E-06	2,63E+15	2,84E-10	2,84E-10	1,04E-04	5,36E+09	1,40E-04	1,40E-04
FEBBRAIO	675.068	3,91E-06	2,63E+15	2,57E-10	5,41E-10	1,04E-04	5,36E+09	1,26E-04	2,66E-04
MARZO	747.397	4,13E-06	2,11E+15	3,54E-10	8,95E-10	1,06E-04	4,89E+09	1,53E-04	4,18E-04
APRILE	723.288	4,42E-06	1,61E+15	4,49E-10	1,34E-09	1,10E-04	4,26E+09	1,70E-04	5,88E-04
MAGGIO	747.397	4,97E-06	1,01E+15	7,42E-10	2,09E-09	1,18E-04	3,18E+09	2,35E-04	8,23E-04
GIUGNO	723.288	5,46E-06	6,92E+14	1,05E-09	3,13E-09	1,29E-04	2,25E+09	3,21E-04	1,14E-03
LUGLIO	747.397	5,74E-06	5,66E+14	1,32E-09	4,45E-09	1,38E-04	1,70E+09	4,40E-04	1,58E-03
AGOSTO	747.397	5,76E-06	5,58E+14	1,34E-09	5,79E-09	1,39E-04	1,65E+09	4,53E-04	2,04E-03
SETTEMBRE	723.288	5,48E-06	6,82E+14	1,06E-09	6,85E-09	1,29E-04	2,21E+09	3,27E-04	2,36E-03
OTTOBRE	747.397	5,07E-06	9,30E+14	8,03E-10	7,65E-09	1,20E-04	2,98E+09	2,50E-04	2,61E-03
NOVEMBRE	723.288	4,53E-06	1,46E+15	4,96E-10	8,15E-09	1,11E-04	4,05E+09	1,79E-04	2,79E-03
DICEMBRE	747.397	4,01E-06	2,38E+15	3,14E-10	8,46E-09	1,06E-04	4,94E+09	1,51E-04	2,94E-03
TOTALI	8.800.000			8,46E-09	VERIFICATO			2,94E-03	VERIFICATO

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' MINORE CALABRIA

Legge Università di Nottingham

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MGS				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	747.397	3,91E-06	2,31E+13	3,23E-08	3,23E-08	1,04E-04	1,92E+08	3,89E-03	3,89E-03
FEBBRAIO	675.068	3,91E-06	2,31E+13	2,92E-08	6,15E-08	1,04E-04	1,92E+08	3,51E-03	7,40E-03
MARZO	747.397	4,13E-06	1,90E+13	3,93E-08	1,01E-07	1,06E-04	1,77E+08	4,22E-03	1,16E-02
APRILE	723.288	4,42E-06	1,49E+13	4,84E-08	1,49E-07	1,10E-04	1,57E+08	4,62E-03	1,62E-02
MAGGIO	747.397	4,97E-06	9,83E+12	7,61E-08	2,25E-07	1,18E-04	1,21E+08	6,19E-03	2,24E-02
GIUGNO	723.288	5,46E-06	7,02E+12	1,03E-07	3,28E-07	1,29E-04	8,88E+07	8,15E-03	3,06E-02
LUGLIO	747.397	5,74E-06	5,87E+12	1,27E-07	4,55E-07	1,38E-04	6,90E+07	1,08E-02	4,14E-02
AGOSTO	747.397	5,76E-06	5,80E+12	1,29E-07	5,84E-07	1,39E-04	6,72E+07	1,11E-02	5,25E-02
SETTEMBRE	723.288	5,48E-06	6,93E+12	1,04E-07	6,89E-07	1,29E-04	8,73E+07	8,29E-03	6,08E-02
OTTOBRE	747.397	5,07E-06	9,15E+12	8,17E-08	7,70E-07	1,20E-04	1,14E+08	6,56E-03	6,74E-02
NOVEMBRE	723.288	4,53E-06	1,37E+13	5,29E-08	8,23E-07	1,11E-04	1,50E+08	4,83E-03	7,22E-02
DICEMBRE	747.397	4,01E-06	2,11E+13	3,53E-08	8,58E-07	1,06E-04	1,79E+08	4,18E-03	7,64E-02
TOTALI	8.800.000			8,58E-07	VERIFICATO			7,64E-02	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Progetto dell'infrastruttura stradale – Viabilità minore versante Calabria	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Allegato 2.2 – Verifica dei tipologici stratigrafici di progetto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

ANALISI DEI DATI CLIMATICI DISPONIBILI - STAZIONE METEOROLOGICA DI REGGIO CALABRIA

Dati forniti nei documenti tecnici del Progetto Preliminare (PP2R-A25.pdf)

Periodi di riferimento 1940-1974

Temperatura [°C]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media anno
media delle minime	9,2	9,1	9,8	12,0	15,1	17,9	22,0	22,6	20,7	16,8	13,3	10,3	14,9
media delle massime	13,8	14,8	16,5	18,8	22,8	27,5	30,0	30,2	27,7	23,1	20,0	15,5	21,7
minima assoluta	1,2	2,6	-1,6	6,4	7,5	13,5	17,6	16,0	14,0	11,0	5,0	3,6	8,1
massima assoluta	19,8	22,6	26,6	26,6	32,8	38,5	40,0	38,2	37,0	30,6	24,0	20,4	29,8
media mensile	11,5	12,0	13,2	15,4	19,0	22,7	26,0	26,4	24,2	20,0	16,7	12,9	18,3

Umidità relativa [%]	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Anno
ore 7.00	72	70	74	76	73
ore 13.00	62	54	64	68	62
giornaliera	67	62	69	72	68

Dati 1973-2010 elaborati su base giornaliera

Periodi di riferimento 1973-2010

Temperatura [°C]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media anno
media delle minime	8,7	8,5	9,9	12,0	15,8	19,9	22,9	23,3	20,2	16,8	13,0	10,2	15,1
media delle massime	15,0	15,1	16,8	19,1	23,4	27,7	30,9	31,1	27,8	24,0	19,5	16,2	22,2
minima assoluta *	-7,0	0,0	0,7	6,0	7,5	13,0	16,0	16,0	12,8	4,8	5,2	3,4	6,5
massima assoluta *	24,6	25,8	32,0	29,6	33,6	43,4	43,6	41,8	38,2	36,4	29,2	25,4	33,6
media mensile	11,8	11,8	13,4	15,5	19,6	23,8	26,9	27,2	24,0	20,4	16,3	13,2	18,7

Umidità relativa [%]	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Anno
giornaliera	66	65	72	71	69

* Dati ricavati dalle temperature estreme rilevate e documentate dal 1951 al 2010

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

TEMPERATURE MEDIE MENSILI DELLA PAVIMENTAZIONE DEFINITE SECONDO BARKER E MARCHIONNA

Mese di riferimento	Temperatura standard 20 °C			Temperatura di rif. dell'aria			Temperatura di rif. della pavimentazione					
							Marchionna			Barker		
	T _{st} [°C]	T _{st} [°F]	T _{st} [°K]	T _{ref} [°C]	T _{ref} [°F]	T _{ref} [°K]	T _{ref} [°C]	T _{ref} [°F]	T _{ref} [°K]	T _{ref} [°C]	T _{ref} [°F]	T _{ref} [°K]
Gennaio	20,0	68	293,15	11,8	53,24	284,95	17,2	63	290,37	17,4	63	290,51
Febbraio	20,0	68	293,15	11,8	53,24	284,95	17,2	63	290,37	17,4	63	290,51
Marzo	20,0	68	293,15	13,4	56,12	286,55	19,2	67	292,39	19,3	67	292,43
Aprile	20,0	68	293,15	15,5	59,9	288,65	21,9	71	295,04	21,8	71	294,95
Maggio	20,0	68	293,15	19,6	67,28	292,75	27,1	81	300,21	26,7	80	299,87
Giugno	20,0	68	293,15	23,8	74,84	296,95	32,4	90	305,51	31,8	89	304,91
Luglio	20,0	68	293,15	26,9	80,42	300,05	36,3	97	309,42	35,5	96	308,63
Agosto	20,0	68	293,15	27,2	80,96	300,35	36,7	98	309,80	35,8	97	308,99
Settembre	20,0	68	293,15	24,0	75,2	297,15	32,6	91	305,77	32,0	90	305,15
Ottobre	20,0	68	293,15	20,4	68,72	293,55	28,1	83	301,22	27,7	82	300,83
Novembre	20,0	68	293,15	16,3	61,34	289,45	22,9	73	296,05	22,8	73	295,91
Dicembre	20,0	68	293,15	13,2	55,76	286,35	19,0	66	292,14	19,0	66	292,19

T_{st} [°C] = 20

z [mm] = 20

z [inches] = 0,79

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Parte 2: viabilità minore versante Calabria

La presente Relazione Tecnica, redatta nell'ambito della progettazione dell'infrastruttura stradale per le opere di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina, descrive il dimensionamento strutturale delle pavimentazioni sulla viabilità minore versante Calabria, relativamente a quanto indicato nelle Specifiche Tecniche di progettazione (cod. documento "GCG.F.03.02").

L'approccio utilizzato per lo sviluppo del dimensionamento è di tipo empirico-meccanicistico e si basa sulla valutazione dello stato tenso-deformativo che si instaura nella sovrastruttura stradale, al variare delle sue caratteristiche geometriche e compositive, per effetto di uno schema di carico di progetto prestabilito. In questo modo, è possibile relazionare la capacità portante dei modelli meccanico-stratigrafici considerati a variabili di progetto fondamentali quali il traffico sollecitante, le condizioni climatiche di esercizio e le caratteristiche prestazionali dei materiali, fortemente variabili con la temperatura in alcuni di questi a causa della forte suscettività termica che li caratterizza.

Lo scenario di riferimento considerato (condizioni di traffico, tipologia e spessore degli strati) per le tratte a cielo aperto è quello definito nel Catalogo delle pavimentazioni stradali del CNR, bollettino 178/95. Le soluzioni progettuali proposte prevedono l'utilizzo di una tecnologia tradizionale per la realizzazione dello strato di usura della pavimentazione, quindi l'impiego di leganti bituminosi ordinari.

Le verifiche condotte sulle configurazioni di progetto si basano sull'implementazione di appositi modelli prestazionali che valutano il comportamento della sovrastruttura, nella vita utile di esercizio considerata, nei riguardi della fatica e delle deformazioni permanenti.

Sono parte integrante della presente relazione gli allegati tecnici relativi alla verifica strutturale dei pacchetti indicati in progetto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2.1 Traffico di progetto

La definizione del traffico che la pavimentazione dovrà sopportare nel corso della vita utile di progetto, il quale per sua natura è estremamente eterogeneo, è stata ottenuta attraverso un processo di omogeneizzazione che considera singolarmente la magnitudine dei carichi applicati, la configurazione dei carichi stessi (numero di assi e geometria delle superfici di impronta) ed il numero totale di ripetizioni di carico. Tale processo, formulato in maniera del tutto analoga a quella che caratterizza diversi metodi di dimensionamento tra i quali l'AASHTO Guide, permette di ricondurre l'intero traffico di progetto (caratterizzato da un proprio spettro di veicoli) ad un numero di passaggi di una configurazione di carico convenzionale, denominati "assi equivalenti".

Il concetto di traffico "equivalente" si basa sul presupposto di ricavare quel numero di ripetizioni di un determinato asse di carico che, in termini di danneggiamento a fatica dei materiali, produce nella pavimentazione lo stesso effetto causato dall'insieme delle sollecitazioni prodotte dai singoli veicoli costituenti l'intero spettro di traffico. Ai fini della verifica strutturale della pavimentazione, il traffico equivalente di progetto è stato determinato considerando come asse di riferimento (Equivalent Standard Axle Load) l'asse singolo a ruote gemelle da 80 KN.

Il volume di traffico considerato ai fini del dimensionamento della pavimentazione è il 10% di quello richiamato nelle Specifiche Tecniche di progettazione per la viabilità principale, ossia 4.000.000 di mezzi commerciali, distribuito secondo lo spettro competente alle extraurbane secondarie ordinarie. Il corrispondente numero di assi standard da 80 KN di progetto è stato calcolato a partire dalla composizione e dalla distribuzione di traffico indicate nel bollettino 178/95, assumendo un coefficiente di equivalenza veicoli commerciali/n. assi equivalenti da 80 KN pari a 2.2.

Il numero di assi da 80 KN di progetto, ottenuto moltiplicando il numero totale di veicoli pesanti per il coefficiente di equivalenza sopra indicato, è pari a 8.800.000 (*traffico di progetto unidirezionale*).

Tabella 1 – Ripartizione mensile degli assi equivalenti da 80 KN di progetto

MESE	N. assi da 80 KN di progetto
GENNAIO	747.397
FEBBRAIO	675.068
MARZO	747.397
APRILE	723.288
MAGGIO	747.397
GIUGNO	723.288
LUGLIO	747.397
AGOSTO	747.397

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SETTEMBRE	723.288
OTTOBRE	747.397
NOVEMBRE	723.288
DICEMBRE	747.397
TOTALE	8.800.000

2.2 Condizioni climatiche di riferimento

Le caratteristiche meccaniche e prestazionali degli strati in conglomerato bituminoso di una pavimentazione, a causa della natura viscoelastica del bitume, variano sensibilmente con la temperatura di esercizio. Per questa ragione, al fine di poter analizzare nel dettaglio il danno a fatica subito dalla pavimentazione selezionando correttamente i parametri geomeccanici per i materiali considerati, l'analisi tenso-deformativa non può prescindere da condizioni climatiche di riferimento definite con una prestabilita frequenza temporale all'interno dell'anno solare.

Le temperature dell'aria prese in considerazione sono i valori medi mensili, intesi come medie della temperatura massima e minima di ciascun mese dell'anno, registrati su base storica 1973-2010 nella stazione meteorologica di Reggio di Calabria. Si segnala che i dati così acquisiti sono del tutto coerenti con quelli riportati nei documenti tecnici del Progetto Preliminare (cod. documento PP2R-A25), i quali però si riferiscono ad un periodo storico precedente (1940-1974).

Le temperature di riferimento della pavimentazione sono state ricavate, a partire da quelle dell'aria, con due formulazioni alternative riportate in letteratura e proposte rispettivamente da Barker (1) e Marchionna (2):

$$T_{pm} = 1.2 \cdot T_{am} + 3.2 \quad (1)$$

dove:

T_{pm} = temperatura media mensile del pacchetto legato a bitume;

T_{am} = temperatura media mensile dell'aria;

$$T_{pm}(z) = (1.467 + 0.043z) + (1.362 - 0.005z) \cdot T_{am} \quad (2)$$

dove:

$T_{pm}(z)$ = temperatura media mensile della pavimentazione alla profondità z ;

T_{am} = temperatura media mensile dell'aria.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 2 – Temperature medie mensili di riferimento

MESE	T Aria [°C]	T Pav [°C]	T Pav [°F]
GENNAIO	11,8	17,4	63
FEBBRAIO	11,8	17,4	63
MARZO	13,4	19,3	67
APRILE	15,5	21,8	71
MAGGIO	19,6	26,7	80
GIUGNO	23,8	31,8	89
LUGLIO	26,9	35,5	96
AGOSTO	27,2	35,8	97
SETTEMBRE	24,0	32,0	90
OTTOBRE	20,4	27,7	82
NOVEMBRE	16,3	22,8	73
DICEMBRE	13,2	19,0	66

Le temperature di progetto della pavimentazione sopra indicate, e selezionate ai fini progettuali, sono quelle risultanti dalla legge di Barker, visto che questa configura mediamente un regime termico più gravoso rispetto a quello definito con la legge di Marchionna per una profondità z convenzionalmente assunta pari a 20 mm. I valori di riferimento così calcolati, espressi in ° Celsius e in ° Fahrenheit, sono stati utilizzati per determinare la rigidità (modulo elastico E) degli strati in conglomerato bituminoso nei vari mesi dell'anno.

In Allegato 2.1 sono riportati i dati meteorologici mensili della stazione di riferimento, determinati su base 1973-2010, nonché i corrispondenti valori della temperatura di progetto nella pavimentazione.

2.3 Caratteristiche prestazionali dei materiali

Per la definizione delle proprietà geomeccaniche dei materiali costituenti le pavimentazioni di progetto sono stati considerati alcuni valori di riferimento tratti dalla bibliografia di settore, opportunamente rimodulati sulla scorta delle nozioni riportate in letteratura tecnica e delle esperienze maturate.

Il dimensionamento relativo alla rampa F, descritto approfonditamente nelle sezioni 2.4 e 2.5 della presente Relazione Tecnica, è stato strutturato in modo tale da considerare le caratteristiche prestazionali dei singoli strati in conglomerato bituminoso, tenendo conto peraltro dei limiti di accettabilità riportati nei principali riferimenti normativi di settore. Alla temperatura di 20 °C, i valori del modulo elastico di Young e del rapporto di Poisson assunti nelle configurazioni di progetto sono quelli di Tabella 3.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 3 – Parametri geomeccanici di progetto per la viabilità minore versante Calabria

ID strato	E [MPa] @20°C	v @20°C
Usura tradizionale	4500	0.35
Binder	4500	0.35
Base	4500	0.35
Misto cementato	2000	0.30
Misto granulare stabilizzato a singolo strato	350	0.30
Sottofondo	30	0.35

Si precisa che i moduli elastici indicati nella precedente tabella, sia per alcuni degli strati legati a bitume sia per gli strati di fondazione, denotano chiaramente la presenza di condizioni climatiche piuttosto gravose.

Per quanto riguarda gli strati in conglomerato bituminoso, i moduli elastici indicati in Tabella 3 sono stati corretti alle temperature mensili della pavimentazione calcolate in precedenza attraverso la seguente relazione proposta dall'Asphalt Institute:

$$E = 10^{a \cdot (T_{ref}^2 - T^2)} \cdot E_{ref} \quad (3)$$

dove:

E = modulo elastico (MPa) alla temperatura di 20°C;

E_{ref} = modulo elastico (MPa) corretto alla temperatura di riferimento mensile della pavimentazione;

T = 68 °F (20 °C);

T_{ref} = temperatura di riferimento mensile della pavimentazione espressa in °F;

a = coefficiente che dipende dalla natura del conglomerato bituminoso e che può essere assunto pari a 0.0001.

Per quanto riguarda invece gli strati di fondazione (Misto Cementato e Misto Granulare Stabilizzato) e di sottofondo (STF), si intende che questi, per ovvie ragioni di natura strutturale e funzionale, non siano sensibili in misura apprezzabile a variazioni termo-igrometriche dell'ambiente di inserimento delle pavimentazioni di progetto.

Nella tabella sottostante, in relazione alla variabilità delle caratteristiche prestazionali del conglomerato bituminoso con le temperature e le condizioni climatiche ipotizzate, si riportano in modo schematico e riassuntivo i moduli elastici adottati per ciascun mese di verifica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 4 – Moduli elastici [MPa] della pavimentazione corretti alle temperature mensili di riferimento

MESE	Collegamenti versante Calabria Moduli @Tpav in [MPa]						
	Usura trad	Usura chiusa	Binder	Base	MC	MGS	STF
GENNAIO	5195	5195	5195	5195	2000	350	30
FEBBRAIO	5195	5195	5195	5195	2000	350	30
MARZO	4685	4685	4685	4685	2000	350	30
APRILE	4056	4056	4056	4056	2000	350	30
MAGGIO	2979	2979	2979	2979	2000	350	30
GIUGNO	2092	2092	2092	2092	2000	350	30
LUGLIO	1573	1573	1573	1573	2000	350	30
AGOSTO	1528	1528	1528	1528	2000	350	30
SETTEMBRE	2055	2055	2055	2055	2000	350	30
OTTOBRE	2793	2793	2793	2793	2000	350	30
NOVEMBRE	3830	3830	3830	3830	2000	350	30
DICEMBRE	4747	4747	4747	4747	2000	350	30

I moduli elastici degli strati in conglomerato bituminoso sono rappresentativi di miscele ottenute attraverso l'impiego di bitumi ordinari, come meglio chiarito nel Capitolato Speciale d'Appalto fornito insieme alla presente. Il modulo elastico attribuito allo strato di fondazione in misto cementato è intermedio rispetto a quello che si può avere tipicamente in condizioni di esercizio con totale fessurazione (≈ 1000 MPa) e quello caratterizzante un materiale messo in opera ex novo (≈ 3000 MPa). I moduli elastici propri del misto granulare stabilizzato e del sottofondo sono, infine, indice di discrete caratteristiche meccaniche per gli strati portanti. Al riguardo, si sottolinea come il modulo provvisoriamente assegnato allo strato di sottofondo debba essere inteso come parametro minimo per le tratte a cielo aperto in rilevato, provvedendo se necessario all'adeguamento delle caratteristiche meccaniche del terreno presente in sito tramite un processo di stabilizzazione.

Si segnala che, in merito ai valori dei rapporti di Poisson precedentemente definiti in Tabella 3, è ragionevole che questi vengano mantenuti costanti nel corso delle verifiche in considerazione del fatto che le variazioni di tale parametro hanno un effetto modesto sullo stato tenso-deformativo della pavimentazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2.4 Dimensionamento della pavimentazione con usura tradizionale

La soluzione di progetto è stata individuata considerando le caratteristiche dei singoli strati legati a bitume e modellando opportunamente lo stato di collaborazione in prossimità delle interfacce usura/binder, binder/base e base/fondazione.

Tabella 5 – Soluzione meccanico-stratigrafica di progetto

Est VM	Usura tradizionale	5	4500	0.35
	Binder	5	4500	0.35
	Base	7	4500	0.35
	MC	25	2000	0.30
	MGS	30	350	0.30
	Sottofondo	n.d.	30	0.35
	Spessore totale		72	

Si fa notare che lo spessore complessivo di progetto è invariato rispetto a quello suggerito negli elaborati grafici del Progetto Preliminare, e inoltre che è sufficiente prevedere l'utilizzo di leganti bituminosi di tipo ordinario per il raggiungimento delle caratteristiche meccaniche di portanza necessarie e per evitare fenomeni di rottura a livello dello strato di base. Tale scelta progettuale è compatibile con il regime termico piuttosto elevato che ha caratterizzato l'ambiente in cui verranno insediate le opere di progetto nel periodo storico documentato attraverso le banche dati disponibili. In merito alla configurazione proposta si sottolinea che gli spessori assegnati sono rispondenti alla proposta contenuta nel Catalogo delle pavimentazioni del CNR e rappresentano i minimi necessari affinché non si manifestino rotture per fatica nello strato di base prima del superamento della vita utile di esercizio.

2.5 Verifica della pavimentazione di progetto

La verifica del dimensionamento proposto è stata svolta con approccio empirico-meccanicistico, ovvero analizzando lo stato tenso-deformativo della pavimentazione soggetta al traffico sollecitante ed applicando opportune leggi di danno. Il modello utilizzato per schematizzare la pavimentazione è quello del multistrato elastico poggiate su uno strato di spessore semi-infinito a comportamento elastico, isotropo ed omogeneo.

Il calcolo delle tensioni e deformazioni è stato effettuato attraverso il software KENPAVE sviluppato dal Prof. Yang. H. Huang del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Kentucky, il quale permette di modellare la pavimentazione oggetto di verifica secondo le ipotesi sopra richiamate. Lo stato tensionale della pavimentazione, ed il conseguente danno per fatica e per ormaimento, è stato valutato con le configurazioni di progetto sopra illustrate per ciascun mese di riferimento. Il danno cumulato su tutto l'arco temporale di vita utile è stato quindi verificato attraverso la legge di Miner, stando alla quale deve risultare $D_{DL} < 1$ (nel caso in esame D_{DL} è il danno cumulato dopo il transito di 4.000.000 di mezzi pesanti).

Vengono nel seguito descritti i parametri di sollecitazione e/o deformazione e i modelli prestazionali adottati in fase di verifica per ogni strato costituente la pavimentazione in oggetto. Poiché tali modelli derivano da studi empirici eseguiti sul campo e quindi caratterizzati da condizioni al contorno anche diverse tra loro, la verifica è stata effettuata analizzando i risultati ottenuti da diverse leggi *con il regime di sollecitazione prefigurato* e considerando le risultanze più cautelative.

FESSURAZIONE DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO

I punti di controllo della formazione di fessure nel conglomerato bituminoso sono a livello delle interfacce binder/base e base/fondazione. Il parametro da considerare ai fini della verifica a fatica è la massima deformazione orizzontale di trazione, $\varepsilon_{t,max}$.

Una volta individuata la deformazione di trazione sulle interfacce di separazione del conglomerato bituminoso suddette, la stima del numero di ripetizioni di carico che gli strati legati a bitume potranno sopportare prima di evidenziare ammaloramenti, quindi anche del danno subito, è stata effettuata attraverso alcune leggi di fatica che considerano diversamente l'influenza sulla vita residua del livello di deformazione raggiungibile nella pavimentazione e delle sue proprietà meccaniche:

$$N_f = 1.467 \cdot 10^{-10} \cdot (\varepsilon_t)^{-4.2735}$$

Autostrade (G & C)

$$N_f = 0.0796 \cdot (\varepsilon_t)^{-3.291} \cdot (E_1)^{-0.854}$$

Asphalt Institute

$$N_f = 2.83 \cdot 10^{-6} \cdot (\varepsilon_t)^{-3.21}$$

Minnesota

$$N_f = 1.17 \cdot 10^{-10} \cdot (\varepsilon_t)^{-4.2735}$$

Verstraeten mod.

in cui:

N_f = numero di ripetizioni di carico che causano rottura per fatica nella pavimentazione;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ε_t = deformazione di trazione alla base dello strato in conglomerato bituminoso considerato;
 E_1 = modulo elastico equivalente degli strati in conglomerato bituminoso.

FESSURAZIONE DEL MISTO CEMENTATO

Il parametro da considerare ai fini della verifica a fatica è la massima sollecitazione orizzontale di trazione, $\sigma_{t,max}$.

Una volta individuata la sollecitazione di trazione (σ_R) che produce rottura per flessione sull'interfaccia di separazione dello strato di fondazione legato a cemento con il terreno sottostante, la stima della tensione limite che lo strato considerato può sostenere prima si manifestino ammaloramenti è stata effettuata attraverso un modello proposto da Giannini-Ferrari:

$$\sigma_N = \sigma_R \cdot (1 - H \cdot \log N)$$

in cui:

σ_N = tensione limite di rottura a trazione per flessione;

σ_R = tensione di trazione che provoca la rottura dopo N cicli di carico e scarico;

H = coefficiente compreso fra 0.04 e 0.05;

N = numero di cicli di carico di progetto.

DEFORMAZIONI PERMANENTI DEGLI STRATI NON LEGATI

I punti di controllo delle deformazioni permanenti sotto la sovrastruttura sono a livello delle interfacce base/fondazione e fondazione/sottofondo. Il parametro da considerare ai fini della verifica a ormaiamento è la massima deformazione verticale di compressione, $\varepsilon_{z,max}$.

I modelli utilizzati per il calcolo della vita utile in funzione di $\varepsilon_{z,max}$, quindi finalizzati alla prevenzione di irregolarità sul piano viabile dovute ad ormaiamento strutturale del sottofondo o a problemi costitutivi degli strati legati a bitume, sono i seguenti:

$$N = 1.05 \cdot 10^{-7} \cdot (\varepsilon_c)^4 \quad \text{Shell}$$

$$N = 1.365 \cdot 10^{-9} \cdot (\varepsilon_c)^{4.477} \quad \text{Asphalt Institute}$$

$$N = 6.15 \cdot 10^{-7} \cdot (\varepsilon_c)^4 \quad \text{AASHTO}$$

$$N = 1.13 \cdot 10^{-6} \cdot (\varepsilon_c)^{3.571} \quad \text{Università di Nottingham}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

$$\sigma_c = \frac{0.006 \cdot E_0}{1 + 0.7 \cdot \text{Log}N}$$

Kerhoven&Dormon

in cui:

N = numero di ripetizioni di carico che causano rottura per ormaiamento nella pavimentazione;

ϵ_c = deformazione di compressione in sommità dello strato non legato considerato;

σ_c = tensione di compressione in sommità dello strato non legato considerato.

Si precisa che la relazione di Kerhoven&Dormon sopra introdotta è stata elaborata appositamente per la verifica di strati di sottofondo, dei quali valuta la massima sollecitazione di compressione in corrispondenza dell'asse del carico applicato, pertanto le indicazioni da questa fornite per il misto granulare stabilizzato non sono state prese in considerazione.

Di seguito sono riportati i prospetti riepilogativi delle verifiche condotte per la soluzione a cielo aperto.

Tabella 7 – Verifiche a fatica sugli strati di collegamento e di base

#	ID strato	Asphalt Institute	Autostrade (G&C)	Minnesota	Verstraeten mod.
Est VM	Usura tradizionale				
	Binder				
	Base	4.48E-02	1.66E-02	3.47E-02	2.09E-02
	MC	6.69E-01	7.23E-01	6.02E-01	9.08E-01
	MGS				
	Sottofondo				

Tabella 8 – Verifiche a ormaiamento sugli strati portanti non legati

#	ID strato	Shell 95%	Asphalt Institute	AASHTO	Nottingham	Ker&Dor
Est VM	Usura tradizionale					
	Binder					
	Base					
	MC					
	MGS	4.96E-08	1.14E-08	8.46E-09	8.58E-07	
	Sottofondo	1.72E-02	1.81E-02	2.94E-03	7.64E-02	1.40E-04

$$\sigma_N = 361.110 \text{ KPa} > \sigma_{\max} = 339.672 \text{ KPa}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Dalle tabelle precedenti si evince che le soluzioni proposte risultano verificate in termini di prestazioni strutturali dei materiali, assicurando una ripartizione delle sollecitazioni adeguata sia all'interno della sovrastruttura che a livello del sottofondo e confinando eventuali rotture negli strati legati a bitume (in particolare gli strati di collegamento e di base). Si evidenzia al riguardo che le interfacce di separazione degli strati in terreno naturale sono state ipotizzate prive di alcun tipo di collaborazione, mentre quelle di separazione degli strati legati a bitume o a cemento sono state ritenute totalmente collaboranti non soltanto per via dell'affinità dei materiali costituenti ma considerando anche il comportamento che la pavimentazione dovrebbe avere in esercizio.

In Allegato 2.2 vengono riportate nel dettaglio le risultanze della risposta tenso-deformativa alle sollecitazioni imposte dei singoli strati costituenti la sovrastruttura ed il relativo calcolo del danno per fatica ed ormaiamento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI		<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Considerazioni sulla viabilità minore versante Calabria

La presente Relazione Tecnica descrive il dimensionamento strutturale della pavimentazione dei collegamenti compresi nella viabilità minore versante Calabria. Le configurazioni di progetto sono state ricercate attraverso un processo di ottimizzazione di uno scenario iniziale, che è quello illustrato nel Catalogo delle pavimentazioni stradali del CNR per strade extraurbane secondarie ordinarie a traffico medio.

I modelli stratigrafico-meccanici proposti, nelle condizioni climatiche e di traffico considerate, risultano adeguati nei riguardi dei fenomeni di rottura per fatica ed ormaiamento relativamente alla vita utile di progetto, che corrisponde al transito di 4.000.000 di mezzi commerciali. Il quadro tenso-deformativo determinato evidenzia in particolare che il danno cumulato a livello degli strati in conglomerato bituminoso è superiore rispetto a quello che compete agli strati non legati di fondazione e sottofondo, restando inteso che entrambi sono inferiori all'unità e pertanto accettabili. Ciò mostra come l'eventuale crisi della pavimentazione, per quanto remota, possa essere comunque circoscritta agli strati legati a bitume (in particolare gli strati di collegamento e di base) e si possa così evitare di intervenire nel tempo in modo radicale ed invasivo sugli strati più profondi. Le soluzioni descritte prevedono l'utilizzo di una tecnologia tradizionale per la realizzazione dello strato di usura della pavimentazione, quindi l'impiego di leganti bituminosi di tipo ordinario per il confezionamento delle miscele bituminose. Le caratteristiche costitutive dei materiali di progetto, per la cui definizione si rimanda al Capitolato Speciale d'Appalto ed al PMS, conferiscono agli strati legati (anche in virtù di quanto sopra evidenziato) elevati standard prestazionali di portanza e, per conseguenza, permettono di limitarne quanto più possibile gli spessori nel rispetto delle indicazioni fornite nelle Specifiche Tecniche di progettazione.

La qualità richiesta in termini strutturali agli strati di fondazione e di sottofondo è ragionevolmente alta, se si considera che le opere di progetto sono di nuova realizzazione, e deve intendersi come *requisito minimo* per il soddisfacimento delle verifiche strutturali. Si segnala in particolare che lo strato in misto granulare stabilizzato, previsto nelle configurazioni di progetto a cielo aperto in aggiunta alla fondazione in misto cementato, produce un effetto importante sulla portanza complessiva della pavimentazione, esercitando la funzione di rinforzo del sottofondo cui è stata attribuita per i collegamenti della viabilità minore una caratteristica di portanza uguale a 30 MPa.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Allegato 2.1 – Dati meteorologici di progetto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Asphalt Institute

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,79E-05	2,53E+09	3,78E-03	3,78E-03	4,50E-05	1,22E+08	7,83E-02	7,83E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,79E-05	2,53E+09	3,41E-03	7,19E-03	4,50E-05	1,22E+08	7,07E-02	1,49E-01
MARZO	9.554.795	1,91E-05	2,19E+09	4,37E-03	1,16E-02	4,63E-05	1,18E+08	8,08E-02	2,30E-01
APRILE	9.246.575	2,08E-05	1,79E+09	5,17E-03	1,67E-02	4,81E-05	1,14E+08	8,09E-02	3,11E-01
MAGGIO	9.554.795	2,52E-05	1,15E+09	8,34E-03	2,51E-02	5,15E-05	1,09E+08	8,73E-02	3,98E-01
GIUGNO	9.246.575	3,16E-05	6,73E+08	1,37E-02	3,88E-02	5,48E-05	1,10E+08	8,40E-02	4,82E-01
LUGLIO	9.554.795	3,82E-05	4,30E+08	2,22E-02	6,10E-02	5,68E-05	1,16E+08	8,25E-02	5,65E-01
AGOSTO	9.554.795	3,89E-05	4,11E+08	2,33E-02	8,43E-02	5,70E-05	1,17E+08	8,18E-02	6,46E-01
SETTEMBRE	9.246.575	3,20E-05	6,55E+08	1,41E-02	9,84E-02	5,50E-05	1,10E+08	8,39E-02	7,30E-01
OTTOBRE	9.554.795	2,63E-05	1,04E+09	9,18E-03	1,08E-01	5,22E-05	1,09E+08	8,76E-02	8,18E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,16E-05	1,65E+09	5,61E-03	1,13E-01	4,87E-05	1,13E+08	8,18E-02	9,00E-01
DICEMBRE	9.554.795	1,89E-05	2,23E+09	4,29E-03	1,17E-01	4,62E-05	1,19E+08	8,04E-02	9,80E-01
TOTALI	112.500.000			1,17E-01	VERIFICATO			9,80E-01	VERIFICATO

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Autostrade (G&C)

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,79E-05	2,82E+10	3,39E-04	3,39E-04	4,50E-05	5,51E+08	1,74E-02	1,74E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,79E-05	2,82E+10	3,06E-04	6,45E-04	4,50E-05	5,51E+08	1,57E-02	3,30E-02
MARZO	9.554.795	1,91E-05	2,16E+10	4,43E-04	1,09E-03	4,63E-05	4,88E+08	1,96E-02	5,26E-02
APRILE	9.246.575	2,08E-05	1,48E+10	6,24E-04	1,71E-03	4,81E-05	4,17E+08	2,22E-02	7,48E-02
MAGGIO	9.554.795	2,52E-05	6,55E+09	1,46E-03	3,17E-03	5,15E-05	3,10E+08	3,08E-02	1,06E-01
GIUGNO	9.246.575	3,16E-05	2,49E+09	3,71E-03	6,88E-03	5,48E-05	2,38E+08	3,89E-02	1,45E-01
LUGLIO	9.554.795	3,82E-05	1,12E+09	8,55E-03	1,54E-02	5,68E-05	2,04E+08	4,69E-02	1,91E-01
AGOSTO	9.554.795	3,89E-05	1,03E+09	9,28E-03	2,47E-02	5,70E-05	2,01E+08	4,75E-02	2,39E-01
SETTEMBRE	9.246.575	3,20E-05	2,38E+09	3,89E-03	2,86E-02	5,50E-05	2,35E+08	3,94E-02	2,78E-01
OTTOBRE	9.554.795	2,63E-05	5,50E+09	1,74E-03	3,03E-02	5,22E-05	2,94E+08	3,25E-02	3,11E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,16E-05	1,28E+10	7,24E-04	3,11E-02	4,87E-05	3,93E+08	2,35E-02	3,34E-01
DICEMBRE	9.554.795	1,89E-05	2,23E+10	4,28E-04	3,15E-02	4,62E-05	4,96E+08	1,93E-02	3,54E-01
TOTALI	112.500.000			3,15E-02	VERIFICATO			3,54E-01	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Minnesota

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,79E-05	4,87E+09	1,96E-03	1,96E-03	4,50E-05	2,53E+08	3,77E-02	3,77E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,79E-05	4,87E+09	1,77E-03	3,73E-03	4,50E-05	2,53E+08	3,41E-02	7,18E-02
MARZO	9.554.795	1,91E-05	3,98E+09	2,40E-03	6,13E-03	4,63E-05	2,31E+08	4,13E-02	1,13E-01
APRILE	9.246.575	2,08E-05	3,01E+09	3,08E-03	9,20E-03	4,81E-05	2,06E+08	4,49E-02	1,58E-01
MAGGIO	9.554.795	2,52E-05	1,63E+09	5,87E-03	1,51E-02	5,15E-05	1,65E+08	5,80E-02	2,16E-01
GIUGNO	9.246.575	3,16E-05	7,88E+08	1,17E-02	2,68E-02	5,48E-05	1,35E+08	6,86E-02	2,85E-01
LUGLIO	9.554.795	3,82E-05	4,31E+08	2,22E-02	4,90E-02	5,68E-05	1,20E+08	7,96E-02	3,64E-01
AGOSTO	9.554.795	3,89E-05	4,06E+08	2,36E-02	7,25E-02	5,70E-05	1,19E+08	8,03E-02	4,45E-01
SETTEMBRE	9.246.575	3,20E-05	7,60E+08	1,22E-02	8,47E-02	5,50E-05	1,34E+08	6,92E-02	5,14E-01
OTTOBRE	9.554.795	2,63E-05	1,43E+09	6,69E-03	9,14E-02	5,22E-05	1,58E+08	6,04E-02	5,74E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,16E-05	2,69E+09	3,44E-03	9,48E-02	4,87E-05	1,97E+08	4,70E-02	6,21E-01
DICEMBRE	9.554.795	1,89E-05	4,09E+09	2,34E-03	9,72E-02	4,62E-05	2,34E+08	4,08E-02	6,62E-01
TOTALI	112.500.000			9,72E-02	VERIFICATO			6,62E-01	VERIFICATO

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Verstraeten+Autostrade

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,79E-05	2,25E+10	4,26E-04	4,26E-04	4,50E-05	4,38E+08	2,18E-02	2,18E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,79E-05	2,25E+10	3,84E-04	8,10E-04	4,50E-05	4,38E+08	1,97E-02	4,15E-02
MARZO	9.554.795	1,91E-05	1,72E+10	5,56E-04	1,37E-03	4,63E-05	3,88E+08	2,46E-02	6,61E-02
APRILE	9.246.575	2,08E-05	1,18E+10	7,83E-04	2,15E-03	4,81E-05	3,32E+08	2,78E-02	9,39E-02
MAGGIO	9.554.795	2,52E-05	5,22E+09	1,83E-03	3,98E-03	5,15E-05	2,47E+08	3,87E-02	1,33E-01
GIUGNO	9.246.575	3,16E-05	1,99E+09	4,66E-03	8,64E-03	5,48E-05	1,89E+08	4,89E-02	1,81E-01
LUGLIO	9.554.795	3,82E-05	8,90E+08	1,07E-02	1,94E-02	5,68E-05	1,62E+08	5,89E-02	2,40E-01
AGOSTO	9.554.795	3,89E-05	8,20E+08	1,17E-02	3,10E-02	5,70E-05	1,60E+08	5,96E-02	3,00E-01
SETTEMBRE	9.246.575	3,20E-05	1,89E+09	4,89E-03	3,59E-02	5,50E-05	1,87E+08	4,94E-02	3,49E-01
OTTOBRE	9.554.795	2,63E-05	4,38E+09	2,18E-03	3,81E-02	5,22E-05	2,34E+08	4,08E-02	3,90E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,16E-05	1,02E+10	9,09E-04	3,90E-02	4,87E-05	3,13E+08	2,95E-02	4,20E-01
DICEMBRE	9.554.795	1,89E-05	1,78E+10	5,38E-04	3,95E-02	4,62E-05	3,95E+08	2,42E-02	4,44E-01
TOTALI	112.500.000			3,95E-02	VERIFICATO			4,44E-01	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Shell 95%

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	9,64E-05	1,21E+09	7,87E-03	7,87E-03	4,81E-05	1,96E+10	4,88E-04	4,88E-04
FEBBRAIO	8.630.137	9,64E-05	1,21E+09	7,11E-03	1,50E-02	4,81E-05	1,96E+10	4,41E-04	9,29E-04
MARZO	9.554.795	9,99E-05	1,05E+09	9,07E-03	2,40E-02	4,94E-05	1,77E+10	5,40E-04	1,47E-03
APRILE	9.246.575	1,05E-04	8,70E+08	1,06E-02	3,47E-02	5,11E-05	1,54E+10	6,00E-04	2,07E-03
MAGGIO	9.554.795	1,15E-04	5,96E+08	1,60E-02	5,07E-02	5,50E-05	1,15E+10	8,31E-04	2,90E-03
GIUGNO	9.246.575	1,27E-04	4,04E+08	2,29E-02	7,36E-02	5,96E-05	8,32E+09	1,11E-03	4,01E-03
LUGLIO	9.554.795	1,36E-04	3,06E+08	3,12E-02	1,05E-01	6,35E-05	6,45E+09	1,48E-03	5,49E-03
AGOSTO	9.554.795	1,37E-04	2,98E+08	3,21E-02	1,37E-01	6,39E-05	6,28E+09	1,52E-03	7,01E-03
SETTEMBRE	9.246.575	1,28E-04	3,96E+08	2,33E-02	1,60E-01	5,98E-05	8,19E+09	1,13E-03	8,14E-03
OTTOBRE	9.554.795	1,17E-04	5,53E+08	1,73E-02	1,78E-01	5,58E-05	1,08E+10	8,82E-04	9,02E-03
NOVEMBRE	9.246.575	1,07E-04	8,10E+08	1,14E-02	1,89E-01	5,18E-05	1,46E+10	6,35E-04	9,66E-03
DICEMBRE	9.554.795	9,95E-05	1,07E+09	8,91E-03	1,98E-01	4,92E-05	1,79E+10	5,33E-04	1,02E-02
TOTALI	112.500.000			1,98E-01	VERIFICATO			1,02E-02	VERIFICATO

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Asphalt Institute

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	9,64E-05	1,30E+09	7,36E-03	7,36E-03	4,81E-05	2,92E+10	3,27E-04	3,27E-04
FEBBRAIO	8.630.137	9,64E-05	1,30E+09	6,64E-03	1,40E-02	4,81E-05	2,92E+10	2,96E-04	6,23E-04
MARZO	9.554.795	9,99E-05	1,11E+09	8,62E-03	2,26E-02	4,94E-05	2,61E+10	3,66E-04	9,89E-04
APRILE	9.246.575	1,05E-04	8,95E+08	1,03E-02	3,29E-02	5,11E-05	2,23E+10	4,14E-04	1,40E-03
MAGGIO	9.554.795	1,15E-04	5,86E+08	1,63E-02	4,92E-02	5,50E-05	1,61E+10	5,94E-04	2,00E-03
GIUGNO	9.246.575	1,27E-04	3,79E+08	2,44E-02	7,37E-02	5,96E-05	1,12E+10	8,25E-04	2,82E-03
LUGLIO	9.554.795	1,36E-04	2,78E+08	3,44E-02	1,08E-01	6,35E-05	8,42E+09	1,14E-03	3,96E-03
AGOSTO	9.554.795	1,37E-04	2,70E+08	3,54E-02	1,43E-01	6,39E-05	8,18E+09	1,17E-03	5,13E-03
SETTEMBRE	9.246.575	1,28E-04	3,71E+08	2,49E-02	1,68E-01	5,98E-05	1,10E+10	8,40E-04	5,97E-03
OTTOBRE	9.554.795	1,17E-04	5,39E+08	1,77E-02	1,86E-01	5,58E-05	1,51E+10	6,34E-04	6,60E-03
NOVEMBRE	9.246.575	1,07E-04	8,26E+08	1,12E-02	1,97E-01	5,18E-05	2,10E+10	4,41E-04	7,04E-03
DICEMBRE	9.554.795	9,95E-05	1,13E+09	8,45E-03	2,06E-01	4,92E-05	2,64E+10	3,61E-04	7,40E-03
TOTALI	112.500.000			2,06E-01	VERIFICATO			7,40E-03	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge AASHTO

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	9,64E-05	7,11E+09	1,34E-03	1,34E-03	4,81E-05	1,15E+11	8,33E-05	8,33E-05
FEBBRAIO	8.630.137	9,64E-05	7,11E+09	1,21E-03	2,56E-03	4,81E-05	1,15E+11	7,53E-05	1,59E-04
MARZO	9.554.795	9,99E-05	6,17E+09	1,55E-03	4,11E-03	4,94E-05	1,04E+11	9,22E-05	2,51E-04
APRILE	9.246.575	1,05E-04	5,10E+09	1,81E-03	5,92E-03	5,11E-05	9,01E+10	1,03E-04	3,53E-04
MAGGIO	9.554.795	1,15E-04	3,49E+09	2,74E-03	8,66E-03	5,50E-05	6,73E+10	1,42E-04	4,95E-04
GIUGNO	9.246.575	1,27E-04	2,36E+09	3,91E-03	1,26E-02	5,96E-05	4,87E+10	1,90E-04	6,85E-04
LUGLIO	9.554.795	1,36E-04	1,79E+09	5,33E-03	1,79E-02	6,35E-05	3,77E+10	2,53E-04	9,38E-04
AGOSTO	9.554.795	1,37E-04	1,74E+09	5,48E-03	2,34E-02	6,39E-05	3,68E+10	2,60E-04	1,20E-03
SETTEMBRE	9.246.575	1,28E-04	2,32E+09	3,99E-03	2,74E-02	5,98E-05	4,79E+10	1,93E-04	1,39E-03
OTTOBRE	9.554.795	1,17E-04	3,24E+09	2,95E-03	3,03E-02	5,58E-05	6,34E+10	1,51E-04	1,54E-03
NOVEMBRE	9.246.575	1,07E-04	4,74E+09	1,95E-03	3,23E-02	5,18E-05	8,53E+10	1,08E-04	1,65E-03
DICEMBRE	9.554.795	9,95E-05	6,28E+09	1,52E-03	3,38E-02	4,92E-05	1,05E+11	9,11E-05	1,74E-03
TOTALI	112.500.000			3,38E-02	VERIFICATO			1,74E-03	VERIFICATO

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Verstraeten-Veverka-Francken

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	9,64E-05	5,03E+08	1,90E-02	1,90E-02	4,81E-05	9,52E+09	1,00E-03	1,00E-03
FEBBRAIO	8.630.137	9,64E-05	5,03E+08	1,72E-02	3,61E-02	4,81E-05	9,52E+09	9,06E-04	1,91E-03
MARZO	9.554.795	9,99E-05	4,33E+08	2,21E-02	5,82E-02	4,94E-05	8,56E+09	1,12E-03	3,03E-03
APRILE	9.246.575	1,05E-04	3,54E+08	2,61E-02	8,43E-02	5,11E-05	7,39E+09	1,25E-03	4,28E-03
MAGGIO	9.554.795	1,15E-04	2,37E+08	4,03E-02	1,25E-01	5,50E-05	5,42E+09	1,76E-03	6,04E-03
GIUGNO	9.246.575	1,27E-04	1,57E+08	5,89E-02	1,83E-01	5,96E-05	3,85E+09	2,40E-03	8,44E-03
LUGLIO	9.554.795	1,36E-04	1,17E+08	8,15E-02	2,65E-01	6,35E-05	2,94E+09	3,25E-03	1,17E-02
AGOSTO	9.554.795	1,37E-04	1,14E+08	8,38E-02	3,49E-01	6,39E-05	2,86E+09	3,34E-03	1,50E-02
SETTEMBRE	9.246.575	1,28E-04	1,54E+08	6,01E-02	4,09E-01	5,98E-05	3,79E+09	2,44E-03	1,75E-02
OTTOBRE	9.554.795	1,17E-04	2,19E+08	4,36E-02	4,53E-01	5,58E-05	5,10E+09	1,88E-03	1,93E-02
NOVEMBRE	9.246.575	1,07E-04	3,28E+08	2,82E-02	4,81E-01	5,18E-05	6,97E+09	1,33E-03	2,07E-02
DICEMBRE	9.554.795	9,95E-05	4,41E+08	2,16E-02	5,02E-01	4,92E-05	8,67E+09	1,10E-03	2,18E-02
TOTALI	112.500.000			5,02E-01	VERIFICATO			2,18E-02	VERIFICATO

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>Progetto dell'infrastruttura stradale – Viabilità minore versante Calabria</p>	<p><i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

Allegato 1.3 – Verifica dei tipologici stratigrafici di progetto in galleria

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Asphalt Institute

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,87E-05	3,89E+09	2,45E-03	2,45E-03	4,50E-05	1,86E+08	5,13E-02	5,13E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,87E-05	3,89E+09	2,22E-03	4,67E-03	4,50E-05	1,86E+08	4,63E-02	9,76E-02
MARZO	9.554.795	2,09E-05	2,98E+09	3,21E-03	7,88E-03	4,66E-05	1,81E+08	5,28E-02	1,50E-01
APRILE	9.246.575	2,43E-05	2,04E+09	4,53E-03	1,24E-02	4,88E-05	1,76E+08	5,24E-02	2,03E-01
MAGGIO	9.554.795	3,38E-05	8,97E+08	1,07E-02	2,31E-02	5,27E-05	1,78E+08	5,36E-02	2,56E-01
GIUGNO	9.246.575	4,97E-05	3,42E+08	2,70E-02	5,01E-02	5,55E-05	2,03E+08	4,56E-02	3,02E-01
LUGLIO	9.554.795	6,80E-05	1,55E+08	6,16E-02	1,12E-01	5,63E-05	2,47E+08	3,86E-02	3,41E-01
AGOSTO	9.554.795	7,02E-05	1,43E+08	6,68E-02	1,78E-01	5,63E-05	2,54E+08	3,77E-02	3,78E-01
SETTEMBRE	9.246.575	5,06E-05	3,26E+08	2,84E-02	2,07E-01	5,56E-05	2,05E+08	4,52E-02	4,24E-01
OTTOBRE	9.554.795	3,62E-05	7,54E+08	1,27E-02	2,20E-01	5,33E-05	1,81E+08	5,29E-02	4,76E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,58E-05	1,76E+09	5,26E-03	2,25E-01	4,96E-05	1,76E+08	5,27E-02	5,29E-01
DICEMBRE	9.554.795	2,06E-05	3,08E+09	3,10E-03	2,28E-01	4,64E-05	1,82E+08	5,26E-02	5,82E-01
TOTALI	112.500.000			2,28E-01	VERIFICATO			5,82E-01	VERIFICATO

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Autostrade (G&C)

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,87E-05	2,34E+10	4,08E-04	4,08E-04	4,50E-05	5,53E+08	1,73E-02	1,73E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,87E-05	2,34E+10	3,69E-04	7,77E-04	4,50E-05	5,53E+08	1,56E-02	3,29E-02
MARZO	9.554.795	2,09E-05	1,47E+10	6,48E-04	1,43E-03	4,66E-05	4,75E+08	2,01E-02	5,30E-02
APRILE	9.246.575	2,43E-05	7,69E+09	1,20E-03	2,63E-03	4,88E-05	3,92E+08	2,36E-02	7,66E-02
MAGGIO	9.554.795	3,38E-05	1,88E+09	5,09E-03	7,72E-03	5,27E-05	2,82E+08	3,39E-02	1,11E-01
GIUGNO	9.246.575	4,97E-05	3,63E+08	2,55E-02	3,32E-02	5,55E-05	2,25E+08	4,11E-02	1,52E-01
LUGLIO	9.554.795	6,80E-05	9,47E+07	1,01E-01	1,34E-01	5,63E-05	2,12E+08	4,50E-02	1,97E-01
AGOSTO	9.554.795	7,02E-05	8,25E+07	1,16E-01	2,50E-01	5,63E-05	2,13E+08	4,49E-02	2,42E-01
SETTEMBRE	9.246.575	5,06E-05	3,34E+08	2,77E-02	2,78E-01	5,56E-05	2,23E+08	4,14E-02	2,83E-01
OTTOBRE	9.554.795	3,62E-05	1,39E+09	6,85E-03	2,84E-01	5,33E-05	2,67E+08	3,58E-02	3,19E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,58E-05	5,94E+09	1,56E-03	2,86E-01	4,96E-05	3,65E+08	2,53E-02	3,44E-01
DICEMBRE	9.554.795	2,06E-05	1,56E+10	6,11E-04	2,87E-01	4,64E-05	4,84E+08	1,97E-02	3,64E-01
TOTALI	112.500.000			2,87E-01	VERIFICATO			3,64E-01	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Minnesota

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,87E-05	4,24E+09	2,26E-03	2,26E-03	4,50E-05	2,54E+08	3,76E-02	3,76E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,87E-05	4,24E+09	2,04E-03	4,29E-03	4,50E-05	2,54E+08	3,39E-02	7,15E-02
MARZO	9.554.795	2,09E-05	2,99E+09	3,19E-03	7,49E-03	4,66E-05	2,27E+08	4,22E-02	1,14E-01
APRILE	9.246.575	2,43E-05	1,84E+09	5,03E-03	1,25E-02	4,88E-05	1,96E+08	4,71E-02	1,61E-01
MAGGIO	9.554.795	3,38E-05	6,37E+08	1,50E-02	2,75E-02	5,27E-05	1,53E+08	6,24E-02	2,23E-01
GIUGNO	9.246.575	4,97E-05	1,85E+08	4,99E-02	7,75E-02	5,55E-05	1,29E+08	7,15E-02	2,95E-01
LUGLIO	9.554.795	6,80E-05	6,75E+07	1,42E-01	2,19E-01	5,63E-05	1,24E+08	7,71E-02	3,72E-01
AGOSTO	9.554.795	7,02E-05	6,09E+07	1,57E-01	3,76E-01	5,63E-05	1,24E+08	7,71E-02	4,49E-01
SETTEMBRE	9.246.575	5,06E-05	1,74E+08	5,32E-02	4,29E-01	5,56E-05	1,29E+08	7,19E-02	5,21E-01
OTTOBRE	9.554.795	3,62E-05	5,09E+08	1,88E-02	4,48E-01	5,33E-05	1,47E+08	6,49E-02	5,86E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,58E-05	1,51E+09	6,12E-03	4,54E-01	4,96E-05	1,86E+08	4,97E-02	6,35E-01
DICEMBRE	9.554.795	2,06E-05	3,13E+09	3,05E-03	4,57E-01	4,64E-05	2,30E+08	4,15E-02	6,77E-01
TOTALI	112.500.000			4,57E-01	VERIFICATO			6,77E-01	VERIFICATO

VERIFICA A FATICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Verstraeten+Autostrade

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di collegamento				Strato di base			
		$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{t, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,87E-05	1,86E+10	5,13E-04	5,13E-04	4,50E-05	4,40E+08	2,17E-02	2,17E-02
FEBBRAIO	8.630.137	1,87E-05	1,86E+10	4,63E-04	9,76E-04	4,50E-05	4,40E+08	1,96E-02	4,13E-02
MARZO	9.554.795	2,09E-05	1,17E+10	8,14E-04	1,79E-03	4,66E-05	3,78E+08	2,53E-02	6,66E-02
APRILE	9.246.575	2,43E-05	6,12E+09	1,51E-03	3,30E-03	4,88E-05	3,12E+08	2,96E-02	9,62E-02
MAGGIO	9.554.795	3,38E-05	1,49E+09	6,39E-03	9,69E-03	5,27E-05	2,24E+08	4,26E-02	1,39E-01
GIUGNO	9.246.575	4,97E-05	2,89E+08	3,20E-02	4,17E-02	5,55E-05	1,79E+08	5,17E-02	1,90E-01
LUGLIO	9.554.795	6,80E-05	7,54E+07	1,27E-01	1,68E-01	5,63E-05	1,69E+08	5,65E-02	2,47E-01
AGOSTO	9.554.795	7,02E-05	6,57E+07	1,45E-01	3,14E-01	5,63E-05	1,69E+08	5,64E-02	3,03E-01
SETTEMBRE	9.246.575	5,06E-05	2,66E+08	3,48E-02	3,49E-01	5,56E-05	1,78E+08	5,20E-02	3,55E-01
OTTOBRE	9.554.795	3,62E-05	1,11E+09	8,61E-03	3,57E-01	5,33E-05	2,13E+08	4,49E-02	4,00E-01
NOVEMBRE	9.246.575	2,58E-05	4,73E+09	1,96E-03	3,59E-01	4,96E-05	2,91E+08	3,18E-02	4,32E-01
DICEMBRE	9.554.795	2,06E-05	1,25E+10	7,67E-04	3,60E-01	4,64E-05	3,85E+08	2,48E-02	4,57E-01
TOTALI	112.500.000			3,60E-01	VERIFICATO			4,57E-01	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Shell 95%

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,02E-04	9,74E+08	9,81E-03	9,81E-03	4,39E-05	2,83E+10	3,38E-04	3,38E-04
FEBBRAIO	8.630.137	1,02E-04	9,74E+08	8,86E-03	1,87E-02	4,39E-05	2,83E+10	3,05E-04	6,43E-04
MARZO	9.554.795	1,07E-04	8,13E+08	1,18E-02	3,04E-02	4,53E-05	2,49E+10	3,83E-04	1,03E-03
APRILE	9.246.575	1,13E-04	6,39E+08	1,45E-02	4,49E-02	4,73E-05	2,10E+10	4,41E-04	1,47E-03
MAGGIO	9.554.795	1,27E-04	4,05E+08	2,36E-02	6,85E-02	5,18E-05	1,46E+10	6,53E-04	2,12E-03
GIUGNO	9.246.575	1,41E-04	2,63E+08	3,52E-02	1,04E-01	5,72E-05	9,82E+09	9,42E-04	3,06E-03
LUGLIO	9.554.795	1,52E-04	1,99E+08	4,81E-02	1,52E-01	6,19E-05	7,17E+09	1,33E-03	4,40E-03
AGOSTO	9.554.795	1,53E-04	1,94E+08	4,92E-02	2,01E-01	6,24E-05	6,95E+09	1,38E-03	5,77E-03
SETTEMBRE	9.246.575	1,42E-04	2,58E+08	3,59E-02	2,37E-01	5,75E-05	9,62E+09	9,61E-04	6,73E-03
OTTOBRE	9.554.795	1,30E-04	3,71E+08	2,58E-02	2,63E-01	5,27E-05	1,36E+10	7,03E-04	7,44E-03
NOVEMBRE	9.246.575	1,16E-04	5,84E+08	1,58E-02	2,78E-01	4,81E-05	1,96E+10	4,72E-04	7,91E-03
DICEMBRE	9.554.795	1,06E-04	8,32E+08	1,15E-02	2,90E-01	4,51E-05	2,53E+10	3,77E-04	8,29E-03
TOTALI	112.500.000			2,90E-01	VERIFICATO			8,29E-03	VERIFICATO

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Asphalt Institute

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,02E-04	1,02E+09	9,41E-03	9,41E-03	4,39E-05	4,40E+10	2,17E-04	2,17E-04
FEBBRAIO	8.630.137	1,02E-04	1,02E+09	8,50E-03	1,79E-02	4,39E-05	4,40E+10	1,96E-04	4,13E-04
MARZO	9.554.795	1,07E-04	8,30E+08	1,15E-02	2,94E-02	4,53E-05	3,83E+10	2,50E-04	6,63E-04
APRILE	9.246.575	1,13E-04	6,34E+08	1,46E-02	4,40E-02	4,73E-05	3,15E+10	2,94E-04	9,56E-04
MAGGIO	9.554.795	1,27E-04	3,80E+08	2,51E-02	6,92E-02	5,18E-05	2,11E+10	4,54E-04	1,41E-03
GIUGNO	9.246.575	1,41E-04	2,34E+08	3,95E-02	1,09E-01	5,72E-05	1,35E+10	6,86E-04	2,10E-03
LUGLIO	9.554.795	1,52E-04	1,71E+08	5,57E-02	1,64E-01	6,19E-05	9,48E+09	1,01E-03	3,10E-03
AGOSTO	9.554.795	1,53E-04	1,67E+08	5,72E-02	2,22E-01	6,24E-05	9,15E+09	1,04E-03	4,15E-03
SETTEMBRE	9.246.575	1,42E-04	2,29E+08	4,04E-02	2,62E-01	5,75E-05	1,32E+10	7,02E-04	4,85E-03
OTTOBRE	9.554.795	1,30E-04	3,45E+08	2,77E-02	2,90E-01	5,27E-05	1,94E+10	4,93E-04	5,34E-03
NOVEMBRE	9.246.575	1,16E-04	5,73E+08	1,61E-02	3,06E-01	4,81E-05	2,92E+10	3,17E-04	5,66E-03
DICEMBRE	9.554.795	1,06E-04	8,51E+08	1,12E-02	3,17E-01	4,51E-05	3,89E+10	2,46E-04	5,90E-03
TOTALI	112.500.000			3,17E-01	VERIFICATO			5,90E-03	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge AASHTO

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,02E-04	5,70E+09	1,68E-03	1,68E-03	4,39E-05	1,65E+11	5,77E-05	5,77E-05
FEBBRAIO	8.630.137	1,02E-04	5,70E+09	1,51E-03	3,19E-03	4,39E-05	1,65E+11	5,21E-05	1,10E-04
MARZO	9.554.795	1,07E-04	4,76E+09	2,01E-03	5,20E-03	4,53E-05	1,46E+11	6,55E-05	1,75E-04
APRILE	9.246.575	1,13E-04	3,74E+09	2,47E-03	7,67E-03	4,73E-05	1,23E+11	7,54E-05	2,51E-04
MAGGIO	9.554.795	1,27E-04	2,37E+09	4,03E-03	1,17E-02	5,18E-05	8,56E+10	1,12E-04	3,62E-04
GIUGNO	9.246.575	1,41E-04	1,54E+09	6,01E-03	1,77E-02	5,72E-05	5,75E+10	1,61E-04	5,23E-04
LUGLIO	9.554.795	1,52E-04	1,16E+09	8,21E-03	2,59E-02	6,19E-05	4,20E+10	2,28E-04	7,51E-04
AGOSTO	9.554.795	1,53E-04	1,14E+09	8,41E-03	3,43E-02	6,24E-05	4,07E+10	2,35E-04	9,86E-04
SETTEMBRE	9.246.575	1,42E-04	1,51E+09	6,13E-03	4,05E-02	5,75E-05	5,63E+10	1,64E-04	1,15E-03
OTTOBRE	9.554.795	1,30E-04	2,17E+09	4,40E-03	4,49E-02	5,27E-05	7,95E+10	1,20E-04	1,27E-03
NOVEMBRE	9.246.575	1,16E-04	3,42E+09	2,71E-03	4,76E-02	4,81E-05	1,15E+11	8,07E-05	1,35E-03
DICEMBRE	9.554.795	1,06E-04	4,87E+09	1,96E-03	4,95E-02	4,51E-05	1,48E+11	6,45E-05	1,42E-03
TOTALI	112.500.000			4,95E-02	VERIFICATO			1,42E-03	VERIFICATO

VERIFICA A ORMAIAMENTO DEL DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE - VIABILITA' PRINCIPALE CALABRIA

Legge Verstraeten-Veverka-Francken

Mese	Assi 80KN di progetto	Strato di fondazione MC				Strato di sottofondo STF			
		$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale	$\epsilon_{c, \max}$	Passaggi limite	Danno parziale	Danno totale
GENNAIO	9.554.795	1,02E-04	3,99E+08	2,40E-02	2,40E-02	4,39E-05	1,40E+10	6,80E-04	6,80E-04
FEBBRAIO	8.630.137	1,02E-04	3,99E+08	2,17E-02	4,56E-02	4,39E-05	1,40E+10	6,15E-04	1,29E-03
MARZO	9.554.795	1,07E-04	3,29E+08	2,90E-02	7,46E-02	4,53E-05	1,23E+10	7,77E-04	2,07E-03
APRILE	9.246.575	1,13E-04	2,55E+08	3,62E-02	1,11E-01	4,73E-05	1,02E+10	9,04E-04	2,98E-03
MAGGIO	9.554.795	1,27E-04	1,58E+08	6,06E-02	1,71E-01	5,18E-05	7,00E+09	1,37E-03	4,34E-03
GIUGNO	9.246.575	1,41E-04	9,97E+07	9,27E-02	2,64E-01	5,72E-05	4,59E+09	2,02E-03	6,36E-03
LUGLIO	9.554.795	1,52E-04	7,43E+07	1,29E-01	3,93E-01	6,19E-05	3,29E+09	2,90E-03	9,26E-03
AGOSTO	9.554.795	1,53E-04	7,24E+07	1,32E-01	5,25E-01	6,24E-05	3,18E+09	3,00E-03	1,23E-02
SETTEMBRE	9.246.575	1,42E-04	9,76E+07	9,47E-02	6,20E-01	5,75E-05	4,49E+09	2,06E-03	1,43E-02
OTTOBRE	9.554.795	1,30E-04	1,44E+08	6,65E-02	6,86E-01	5,27E-05	6,47E+09	1,48E-03	1,58E-02
NOVEMBRE	9.246.575	1,16E-04	2,32E+08	3,98E-02	7,26E-01	4,81E-05	9,52E+09	9,71E-04	1,68E-02
DICEMBRE	9.554.795	1,06E-04	3,37E+08	2,83E-02	7,54E-01	4,51E-05	1,25E+10	7,65E-04	1,75E-02
TOTALI	112.500.000			7,54E-01	VERIFICATO			1,75E-02	VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Allegato 1.2 – Verifica dei tipologici stratigrafici di progetto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> 01

ANALISI DEI DATI CLIMATICI DISPONIBILI - STAZIONE METEOROLOGICA DI REGGIO CALABRIA

Dati forniti nei documenti tecnici del Progetto Preliminare (PP2R-A25.pdf)

Periodi di riferimento 1940-1974

Temperatura [°C]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media anno
media delle minime	9,2	9,1	9,8	12,0	15,1	17,9	22,0	22,6	20,7	16,8	13,3	10,3	14,9
media delle massime	13,8	14,8	16,5	18,8	22,8	27,5	30,0	30,2	27,7	23,1	20,0	15,5	21,7
minima assoluta	1,2	2,6	-1,6	6,4	7,5	13,5	17,6	16,0	14,0	11,0	5,0	3,6	8,1
massima assoluta	19,8	22,6	26,6	26,6	32,8	38,5	40,0	38,2	37,0	30,6	24,0	20,4	29,8
media mensile	11,5	12,0	13,2	15,4	19,0	22,7	26,0	26,4	24,2	20,0	16,7	12,9	18,3

Umidità relativa [%]	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Anno
ore 7.00	72	70	74	76	73
ore 13.00	62	54	64	68	62
giornaliera	67	62	69	72	68

Dati 1973-2010 elaborati su base giornaliera

Periodi di riferimento 1973-2010

Temperatura [°C]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media anno
media delle minime	8,7	8,5	9,9	12,0	15,8	19,9	22,9	23,3	20,2	16,8	13,0	10,2	15,1
media delle massime	15,0	15,1	16,8	19,1	23,4	27,7	30,9	31,1	27,8	24,0	19,5	16,2	22,2
minima assoluta *	-7,0	0,0	0,7	6,0	7,5	13,0	16,0	16,0	12,8	4,8	5,2	3,4	6,5
massima assoluta *	24,6	25,8	32,0	29,6	33,6	43,4	43,6	41,8	38,2	36,4	29,2	25,4	33,6
media mensile	11,8	11,8	13,4	15,5	19,6	23,8	26,9	27,2	24,0	20,4	16,3	13,2	18,7

Umidità relativa [%]	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Anno
giornaliera	66	65	72	71	69

* Dati ricavati dalle temperature estreme rilevate e documentate dal 1951 al 2010

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI	<i>Codice documento</i> CS0072_F0.doc	<i>Rev</i> 01

TEMPERATURE MEDIE MENSILI DELLA PAVIMENTAZIONE DEFINITE SECONDO BARKER E MARCHIONNA

Mese di riferimento	Temperatura standard 20 °C			Temperatura di rif. dell'aria			Temperatura di rif. della pavimentazione					
							Marchionna			Barker		
	T _{st} [°C]	T _{st} [°F]	T _{st} [°K]	T _{ref} [°C]	T _{ref} [°F]	T _{ref} [°K]	T _{ref} [°C]	T _{ref} [°F]	T _{ref} [°K]	T _{ref} [°C]	T _{ref} [°F]	T _{ref} [°K]
Gennaio	20,0	68	293,15	11,8	53,24	284,95	17,2	63	290,37	17,4	63	290,51
Febbraio	20,0	68	293,15	11,8	53,24	284,95	17,2	63	290,37	17,4	63	290,51
Marzo	20,0	68	293,15	13,4	56,12	286,55	19,2	67	292,39	19,3	67	292,43
Aprile	20,0	68	293,15	15,5	59,9	288,65	21,9	71	295,04	21,8	71	294,95
Maggio	20,0	68	293,15	19,6	67,28	292,75	27,1	81	300,21	26,7	80	299,87
Giugno	20,0	68	293,15	23,8	74,84	296,95	32,4	90	305,51	31,8	89	304,91
Luglio	20,0	68	293,15	26,9	80,42	300,05	36,3	97	309,42	35,5	96	308,63
Agosto	20,0	68	293,15	27,2	80,96	300,35	36,7	98	309,80	35,8	97	308,99
Settembre	20,0	68	293,15	24,0	75,2	297,15	32,6	91	305,77	32,0	90	305,15
Ottobre	20,0	68	293,15	20,4	68,72	293,55	28,1	83	301,22	27,7	82	300,83
Novembre	20,0	68	293,15	16,3	61,34	289,45	22,9	73	296,05	22,8	73	295,91
Dicembre	20,0	68	293,15	13,2	55,76	286,35	19,0	66	292,14	19,0	66	292,19

T_{st} [°C] = 20

z [mm] = 20

z [inches] = 0,79