

## AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E  
TANGENZIALE DI BOLOGNA  
INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE  
INTERMEDIA DI PIANURA

### PROGETTO DEFINITIVO

#### CORPO STRADALE

#### OPERE COMPLEMENTARI PAVIMENTAZIONI

Analisi delle caratteristiche strutturali delle pavimentazioni esistenti  
Relazione tecnica

##### IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Stefano Santambrogio  
Ord. Ingg. Milano N. A27107

Responsabile Analisi Trasportistiche e pavimentazioni

##### IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Raffaele Rinaldesi  
Ord. Ingg. Macerata N. A1068


##### IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola  
Ord. Ingg. Milano N. A26796

T.A. - Strade

##### CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111443	0000	PD	RQ	OPC	PA000	00000	R	ATR	0002	-0	SCALA

	ENGINEER COORDINATOR:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Arch. Flavio Camboni Ing. Raffaele Rinaldesi						n.	data
							0	DICEMBRE 2021
	REDATTO:		VERIFICATO:					

##### VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Fabio Visintin

##### VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibili  
DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE, LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO A RETE  
E I SISTEMI INFORMATIVI

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI DELLE CARATTERISTICHE STRUTTURALI DELLE PAVIMENTAZIONI ESISTENTI.....</b>	<b>4</b>
2.1	VALUTAZIONE DELLA VITA UTILE RESIDUA DELLE PAVIMENTAZIONI.....	4
2.2	DATI DI INPUT.....	4
2.2.1	Moduli elastici e spessori della sovrastruttura.....	4
2.2.2	Temperatura della pavimentazione.....	5
2.2.3	Flussi di traffico e numero di ripetizioni di carico di progetto.....	5
2.3	CRITERI DI VERIFICA .....	7
2.4	RISULTATI DELLE VERIFICHE .....	7
	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>11</b>
	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>12</b>
	ALLEGATO A: SEZIONI OMOGENEE .....	12
	ALLEGATO B: ELABORAZIONE DEI DATI DI TEMPERATURA .....	15
	ALLEGATO C: ELABORAZIONE DEI DATI DI TRAFFICO .....	16
	ALLEGATO D: ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI ALLE MISCELE BITUMINOSE .....	17
	ALLEGATO E: VERIFICA STRUTTURALE DELLA PAVIMENTAZIONE .....	18

## **Indice delle Tabelle e delle Figure**

TABELLA 1 – %CL E %CP PER LE SEZIONI INTERESSATE DAL PROGETTO .....	6
TABELLA 2 – LEF PER LE SEZIONI INTERESSATE DAL PROGETTO .....	6
TABELLA 3 – QUADRO RIASSUNTIVO DEI DATI DI TRAFFICO .....	7
TABELLA 4 – QUADRO RIASSUNTIVO DEI RISULTATI OTTENUTI_VIA VALTIERA .....	8
TABELLA 5 – QUADRO RIASSUNTIVO DEI RISULTATI OTTENUTI_VIA STELLONI PONENTE.....	9
TABELLA 6 – QUADRO RIASSUNTIVO DEI RISULTATI OTTENUTI_VIA CORTICELLA.....	10

## **1 PREMESSA**

Nel presente documento viene illustrata la valutazione delle caratteristiche prestazionali delle pavimentazioni esistenti dell'intervento denominato "Intermedia di Pianura", facente parte delle Opere di Adduzione del cosiddetto Passante di Bologna.

La verifica prestazionale della pavimentazione stradale attualmente in opera è stata definita a seguito di una campagna di indagini mediante prove ad alto rendimento (Carotaggi–GPR-FWD). Laddove si sono riscontrate delle caratteristiche strutturali inadeguate si sono individuati gli interventi di risanamento per i quali si rimanda alla relazione specifica "Relazione di progetto delle pavimentazioni" allegata al presente progetto.

## 2 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE STRUTTURALI DELLE PAVIMENTAZIONI ESISTENTI

La valutazione delle caratteristiche strutturali è stata definita a seguito dei risultati ottenuti da una campagna di prove ad alto rendimento (prove Falling Weight Deflectometer) e da un rilievo in continuo della stratigrafia mediante attrezzatura Georadar. Le prove sono state eseguite per determinare la composizione della sovrastruttura esistente (tipologia e spessore degli strati) e per caratterizzare, da un punto di vista meccanico, il sottofondo e gli strati di cui si compone la sovrastruttura. Tali prove hanno consentito di valutare la vita utile residua delle pavimentazioni in opera in relazione all'impiego di progetto e di definire di conseguenza i tratti in cui è opportuno valutare la realizzazione di un risanamento di tipo profondo (esteso all'intero cassonetto).

I dati ottenuti dalla campagna di rilevamento effettuata su ciascun tratto autostradale sono stati i seguenti:

- spessore complessivo degli strati legati a bitume (h1) e dello strato di fondazione (h2);
- moduli elastici, desunti mediante back-calculation, del pacchetto degli strati legati a bitume (E1) alla temperatura di riferimento di 20°C, dello strato della fondazione (E2) e del sottofondo (E3).

Nell'**Allegato A** sono riportati per sezioni omogenee i dati sopra richiamati in forma tabulare.

### 2.1 VALUTAZIONE DELLA VITA UTILE RESIDUA DELLE PAVIMENTAZIONI

Ai fini della valutazione della vita utile di calcolo, intesa come il periodo di tempo in cui la sovrastruttura conserva le condizioni di funzionalità tali da garantire livelli di sicurezza, comfort ed economia del trasporto è stata considerata una pavimentazione equivalente di spessori e moduli pari a quelli rilevati dalle indagini, sottoposta ad un carico di traffico suddiviso in 2 fasi (configurazione attuale e futura), per la quale i fenomeni di degrado vengono tenuti in conto in relazione alla riduzione dei moduli rispetto ad una pavimentazione nuova.

La stima della vita utile residua della pavimentazione attualmente in opera è stata effettuata per ciascun tratto omogeneo associando alla pavimentazione una schematizzazione multistrato per analogia con il modello tristrato utilizzato nelle back-calculation:

- strato 1\_Conglomerato bituminoso;
- strato 2\_Fondazione;
- strato 3\_Sottofondo.

Agli strati sopra indicati sono stati associati gli spessori (h1, h2 e sottofondo di spessore indefinito) e i moduli elastici (E1, E2 e E3).

Per quanto riguarda la distribuzione del flusso di traffico, trattandosi di viabilità ad una corsia per senso di marcia, è stata considerata una percentuale del traffico commerciale transitante per corsia pari al 100%.

### 2.2 DATI DI INPUT

Per la valutazione della vita utile delle pavimentazioni si sono resi necessari i seguenti dati di input:

1. moduli elastici e spessori degli strati componenti la sovrastruttura;
2. temperature caratteristiche dell'aria nella zona in cui il lotto è ubicato;
3. flussi di traffico pesante previsti nell'arco del periodo di analisi nel tratto di intervento.

#### 2.2.1 Moduli elastici e spessori della sovrastruttura

Le caratteristiche meccaniche dello strato in conglomerato bituminoso, in funzione delle condizioni climatiche (Tmedia) di ciascun mese dell'anno, sono state definite mediante applicazione della legge proposta dall'Asphalt Institute [1], che consente di determinare il modulo elastico di un conglomerato bituminoso alla temperatura T a partire da quello alla temperatura di riferimento di 20°C. I parametri sono stati ricavati a partire da precedenti studi sperimentali [2].

$$E_t = \frac{E_0}{10^{\alpha \cdot (T^2 - T_o^2)}}$$

I parametri di riferimento sono:

- $E_t$  → modulo elastico dello strato in conglomerato bituminoso corretto alla temperatura di riferimento;
- $E_0$  → modulo elastico a 20 °C dello strato in conglomerato bituminoso;
- $T$  → temperatura espressa in °F dello strato in conglomerato bituminoso;
- $T_o$  → temperatura di riferimento della pavimentazione (20°C) espressa in °F;
- $\alpha$  → suscettività termica, che dipende dalla natura del conglomerato, assunto pari a 0.0001 [2].

Le caratteristiche meccaniche dello strato di fondazione (E2) e del sottofondo (E3), nonché gli spessori degli strati in conglomerato bituminoso (h1) e di fondazione (h2), sono state desunte dai risultati della campagna di prove ad alto rendimento.

### 2.2.2 Temperatura della pavimentazione

In mancanza di specifiche informazioni, si è fatto riferimento ai dati climatici rilevati negli ultimi 30 anni dalla stazione meteorologica di Bologna. Tali dati climatici sono stati utilizzati (**Allegato B**) per la valutazione delle temperature caratteristiche degli strati in conglomerato bituminoso utilizzando la formulazione di Marchionna:

$$T_{PAV_i} = (1.467 + 0.043 \cdot z) + (1.362 - 0.005 \cdot z) \cdot T_a$$

dove:

- $i$  = i-esimo strato;
- $z$  = quota media dello spessore dell' i-esimo strato rispetto alla sommità della pavimentazione;
- $T_a$  = temperatura media mensile dell'aria, espressa in °C.

### 2.2.3 Flussi di traffico e numero di ripetizioni di carico di progetto

La determinazione del numero di carichi che dovrà sopportare la struttura della pavimentazione è stata effettuata tenendo conto dei soli veicoli commerciali in quanto questi sono gli unici che influenzano il comportamento strutturale. I dati di traffico valutati sono stati quelli riferiti alla tratta elementare considerata in due differenti scenari:

- Scenario Attuale (2021)
- Scenario Tendenziale (2022-2024)
- Scenario Progettuale (2025-2035)

Ai fini del calcolo della vita utile della pavimentazione esistente è stato fissato un periodo di riferimento pari a 14 anni (2021 – 2035), con un utilizzo compreso nel periodo 2021-2024 (scenario tendenziale) per un totale di 4 anni a cui si sommano 10 anni dal 2025 al 2035 (scenario progettuale con entrata in esercizio dell'infrastruttura ampliata nel 2025).

Nelle verifiche relative è stata considerata sia nello scenario tendenziale che progettuale una percentuale di traffico commerciale transitante pari al 100% trattandosi di una viabilità ad una corsia per senso di marcia.

Il traffico pesante di progetto transitante è stato successivamente determinato attraverso la conversione in passaggi di assi equivalenti singoli da 80 kN tramite il coefficiente di carico equivalente (Load Equivalency Factor, LEF), facendo riferimento alla legge della quarta potenza per la quale:

$$LEF_x = \left( \frac{P_x}{P_{ref}} \right)^4$$

dove  $P_x$  è il carico per asse generico e  $P_{ref}$  è il carico per asse di riferimento (80kN).

In funzione di quanto riportato nel Catalogo Italiano delle Pavimentazioni [1], considerato che si evidenzia un mix di traffico commerciale con una componente prevalente di veicoli con più di 2 assi (classi di pedaggio 3-4-5), e quindi difforme da quella di riferimento per la tipologia di infrastruttura in oggetto, si è proceduto alla ridefinizione dello spettro di traffico; il coefficiente di equivalenza tra un generico veicolo pesante ed un asse da 80 kN è stato quindi ottenuto ridefinendo lo spettro ed in particolare prevedendo una componente maggiore di traffico relativa ai veicoli con classe di pedaggio 3-4-5 (3, 4, 5 o più assi). Si riporta di seguito la % di commerciali leggeri e commerciali pesanti necessario per il calcolo dei coefficienti di equivalenza e il dettaglio dei coefficienti di equivalenza utilizzati:

	Scenario tendenziale		Scenario di progetto	
	%CL	%CP	%CL	%CP
Via Valtiera dir. Nord – tratto 1	73%	27%	70%	30%
Via Valtiera dir. Nord – tratto 2	60%	40%	56%	44%
Via Valtiera dir. Sud – tratto 1	63%	37%	51%	49%
Via Valtiera dir. Sud – tratto 2	51%	49%	48%	52%
Via Stelloni Ponente dir. Est	80%	20%	80%	20%
Via Stelloni Ponente dir. Ovest	57%	43%	59%	41%
Via Corticella – dir. Est	58%	42%	64%	36%
Via Corticella – dir. Ovest	67%	33%	61%	39%

*Tabella 1 – %CL e %CP per le sezioni interessate dal progetto*

NOTA: CL=commerciali leggeri, CP=commerciali pesanti

	LEF	
	Scenario tendenziale	Scenario di progetto
Via Valtiera dir. Nord – tratto 1	2.5	2.5
Via Valtiera dir. Nord – tratto 2	3	3
Via Valtiera dir. Sud – tratto 1	3	3
Via Valtiera dir. Sud – tratto 2	3	3.2
Via Stelloni Ponente dir. Est	2.5	2.5
Via Stelloni Ponente dir. Ovest	3	3
Via Corticella – dir. Est	3	3
Via Corticella – dir. Ovest	2.5	3

*Tabella 2 – LEF per le sezioni interessate dal progetto*

Ai fini del calcolo strutturale, il numero di ripetizioni di carico di progetto è stato espresso in termini di assi equivalenti/mese per la fase attuale e la fase di cantiere.

I flussi di traffico sono stati distribuiti omogeneamente nei 12 periodi mensili e così associati alle corrispondenti caratteristiche tenso-deformative degli strati legati a bitume.

Nelle seguenti tabelle è riportato per tutte le tratte analizzate un quadro riassuntivo dei dati di traffico considerati per l'analisi. L'effetto del danno nei due diversi scenari analizzati, attuale e di progetto, è stato stimato con la legge di Miner. Si rimanda all'**Allegato C** per ulteriori approfondimenti.

	Numero di passaggi mensile dell'asse di riferimento (80kN)
Via Valtiera dir. Nord – tratto 1	19854
Via Valtiera dir. Nord – tratto 2	26474
Via Valtiera dir. Sud – tratto 1	19290
Via Valtiera dir. Sud – tratto 2	25511

	Numero di passaggi mensile dell'asse di riferimento (80kN)
Via Stelloni Ponente dir. Est	41433
Via Stelloni Ponente dir. Ovest	51224
Via Corticella – dir. Est	116360
Via Corticella – dir. Ovest	132447

Tabella 3 – Quadro riassuntivo dei dati di traffico

## 2.3 CRITERI DI VERIFICA

I criteri di verifica utilizzati nel calcolo delle pavimentazioni sono quelli proposti dall'Asphalt Institute [1]. Questi trattano separatamente la fessurazione a fatica dei conglomerati, messa in relazione con la massima deformazione di trazione degli strati legati a bitume, e la formazione di ormaie, messa in relazione con la massima deformazione di compressione che si realizza sulla sommità del sottofondo. Il raggiungimento delle condizioni ultime (raggiungimento del Danno unitario) corrisponde, secondo quanto indicato negli studi dell'Asphalt Institute, ad una fessurazione sul 20% della superficie della pavimentazione ed alla formazione di ormaie aventi una profondità di 1.27 cm.

Per tener conto di diverse proprietà volumetriche della miscela rispetto a quelle inizialmente considerate dal modello (7% di vuoti e 11% di bitume effettivo), la curva di fatica utilizzata è quella dell'Asphalt Institute corretta come di seguito riportato [4]:

$$N_f = A * 0,00432 * C * \varepsilon_t^{-3,291} * |E^*|^{-0,854}$$

Dove:

- A, Field Shift Factor (FSF) è pari a 18,4 è stato calibrato sul 20% di fessure per fatica nell'area di impronta;
- $C = 10^M$
- $M = 4,84 * \left( \frac{V_{b \text{ effettivo}}}{V_a + V_{b \text{ effettivo}}} - 0,69 \right)$
- $E^*$  è il modulo dinamico in psi
- $V_{b \text{ effettivo}}$  è il volume % effettivo di bitume;
- $V_a$  è il volume dei vuoti %.

In mancanza di informazioni dalla campagna sperimentale, le caratteristiche delle miscele utilizzate nella correzione della legge di fatica, in accordo con le Norme Tecniche, fanno riferimento a quanto riportato nell'elaborato di progetto ATR0003 relativo al dimensionamento della nuova pavimentazione.

La verifica razionale delle pavimentazioni è stata effettuata utilizzando una schematizzazione di multi-strato elastico ed impiegando il codice di calcolo KENLAYER [5]. Il software è stato utilizzato per la determinazione dello stato tenso-deformativo.

Il traffico è stato espresso in termini di ripetizioni di assi equivalenti singoli a ruote gemellate da 80 kN. La configurazione geometrica utilizzata prevede due impronte circolari di raggio 89,2 mm (a cui corrisponde una pressione di gonfiaggio di 800 kPa) distanziate trasversalmente di 0,315 metri.

Si è ipotizzato il raggiungimento di condizioni di perfetta aderenza tra fondazione e terreno di sottofondo.

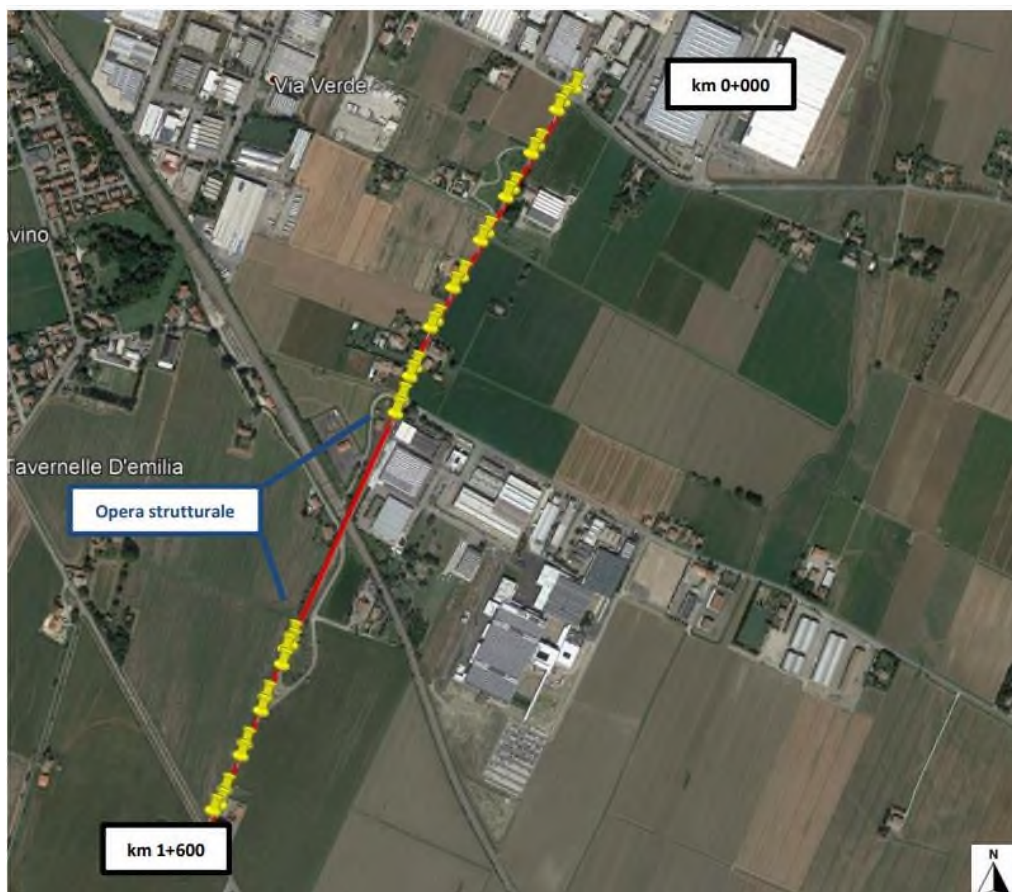
## 2.4 RISULTATI DELLE VERIFICHE

I risultati delle verifiche sono stati riportati nelle tabelle sottostanti differenziandoli per strada e per direzione. In particolar modo sono state evidenziate le sezioni in cui la vita utile calcolata è minore di 14 anni (10 anni dall'apertura al traffico della viabilità di progetto). Nell'ultima colonna è riportata la necessità di intervenire con il completo rifacimento della pavimentazione, a causa della vita utile residua estremamente ridotta.

Nell'**Allegato E** è stato riportato a titolo esemplificativo la verifica strutturale in Via Valtiera direzione Nord della sezione VN01 avente una vita utile residua calcolata inferiore a 14 anni.



nessun intervento	
rifacimento completo pavimentazione	



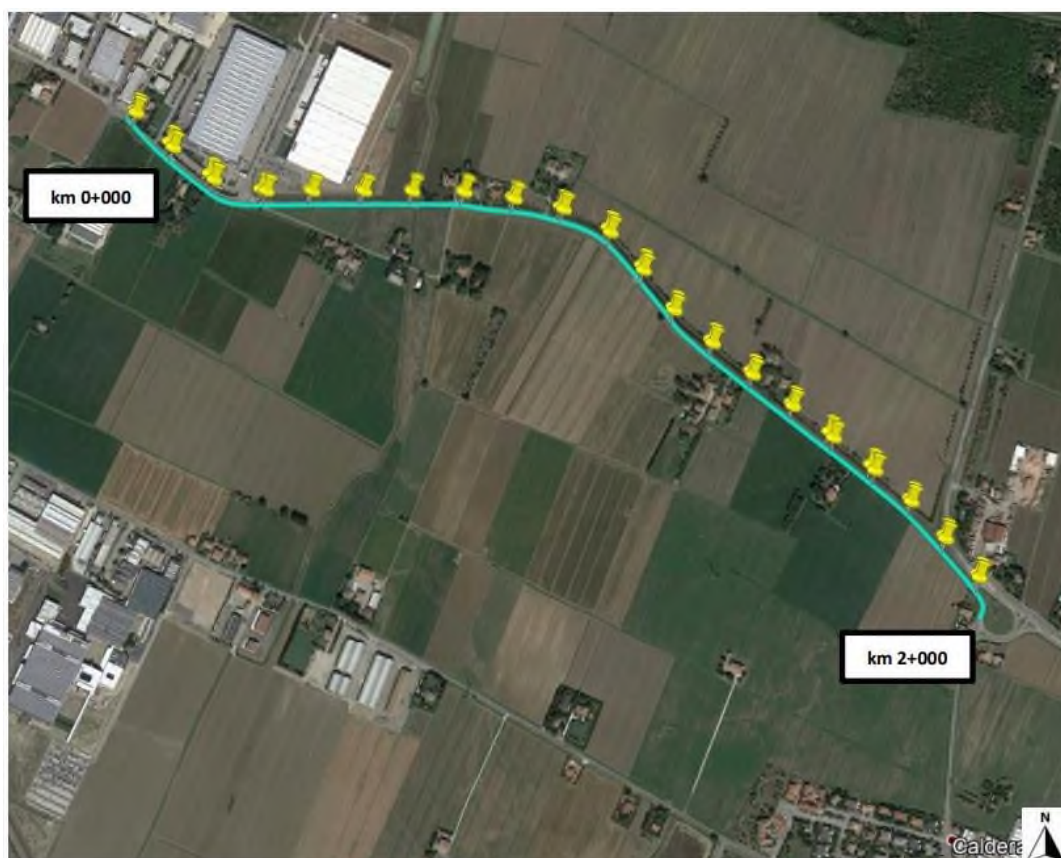
**Sezioni omogenee via Valtiera dir Nord**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	Vita Utile residua
VN01	35	335	300	16,0	20,0	1465	893	101	2
VN02	335	639	304	16,0	20,0	1365	496	88	1
VN03	1242	1589	347	20,5	20,0	1681	330	196	4

**Sezioni omogenee via Valtiera dir Sud**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	Vita Utile residua
VS01	0	605	605	16,9	20,0	1385	417	94	2
VS02	1172	1552	380	21,0	20,0	1733	328	147	4

Tabella 4 – Quadro riassuntivo dei risultati ottenuti\_via Valtiera



**Sezioni omogenee via Stelloni Ponente dir Est**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	Vita Utile residua
SE01	0	1603	1603	12,9	20,7	3070	1048	117	2
SE02	1603	2000	397	13,0	16,0	1163	1162	84	0

**Sezioni omogenee via Stelloni Ponente dir Ovest**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	Vita Utile residua
SO01	0	597	597	13,4	20,3	2523	871	139	1
SO02	597	1592	995	13,0	25,0	3113	928	143	2
SO03	1592	1998	406	13,0	18,0	1600	636	86	0

Tabella 5 – Quadro riassuntivo dei risultati ottenuti\_via Stelloni Ponente



**Sezioni omogenee via Corticella dir Est**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	Vita Utile residua
CE01	-43	120	163	8,0	30,0	4380	544	48	*
CE02	609	1010	401	7,8	30,0	4063	1082	72	*
CE03	1010	1211	201	7,0	30,0	2530	1427	143	0
CE04	1211	1461	250	15,7	26,7	6154	1380	91	4

(\*): per tali sezioni non è stato eseguito il calcolo della vita utile residua in quanto il valore del modulo del sottofondo è al di sotto dei limiti previsti per pavimentazioni esistenti (80 Mpa).

**Sezioni omogenee via Corticella dir Ovest**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	Vita Utile residua
C001	0	203	203	12,0	30,0	3841	243	52	*
CO02	441	950	509	9,1	30,0	3785	389	45	*
CO03	950	1442	492	13,3	30,0	7598	911	83	2

(\*): per tali sezioni non è stato eseguito il calcolo della vita utile residua in quanto il valore del modulo del sottofondo è al di sotto dei limiti previsti per pavimentazioni esistenti (80 Mpa)

Tabella 6 – Quadro riassuntivo dei risultati ottenuti via Corticella

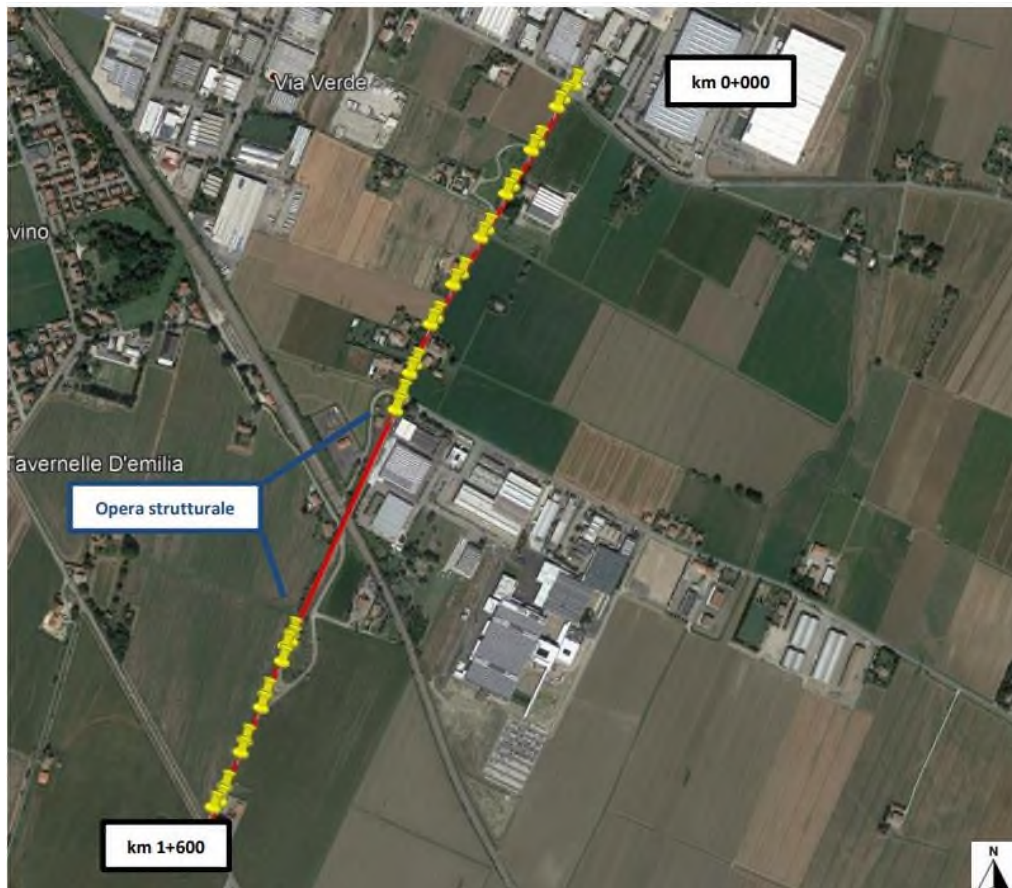
## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1]. *Thickness Design – Highways and Streets*, Manual Series n. 1, Asphalt Institute, 1999.
- [2]. *Rapporto Tecnico “Indagine sulla capacità portante della pavimentazione” – Interconnessione A8 Milano-Lainate dal km 5+800 al kn 10+000, 2012*
- [3]. *“Catalogo delle Pavimentazioni Stradali”*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1995.
- [4]. *Pellinen, T. K., Christensen, D. W., Rowe, G. M., & Sharrock, M. (2004). Fatigue-transfer functions: how do they compare?. Transportation Research Record, 1896(1), 77-87.*
- [5]. *KENLAYER Program (KENPAVE Software) - Huang, Y. H. (2004) - Pavement Design and Analysis* (Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.).



## ALLEGATI

### ALLEGATO A: SEZIONI OMOGENEE

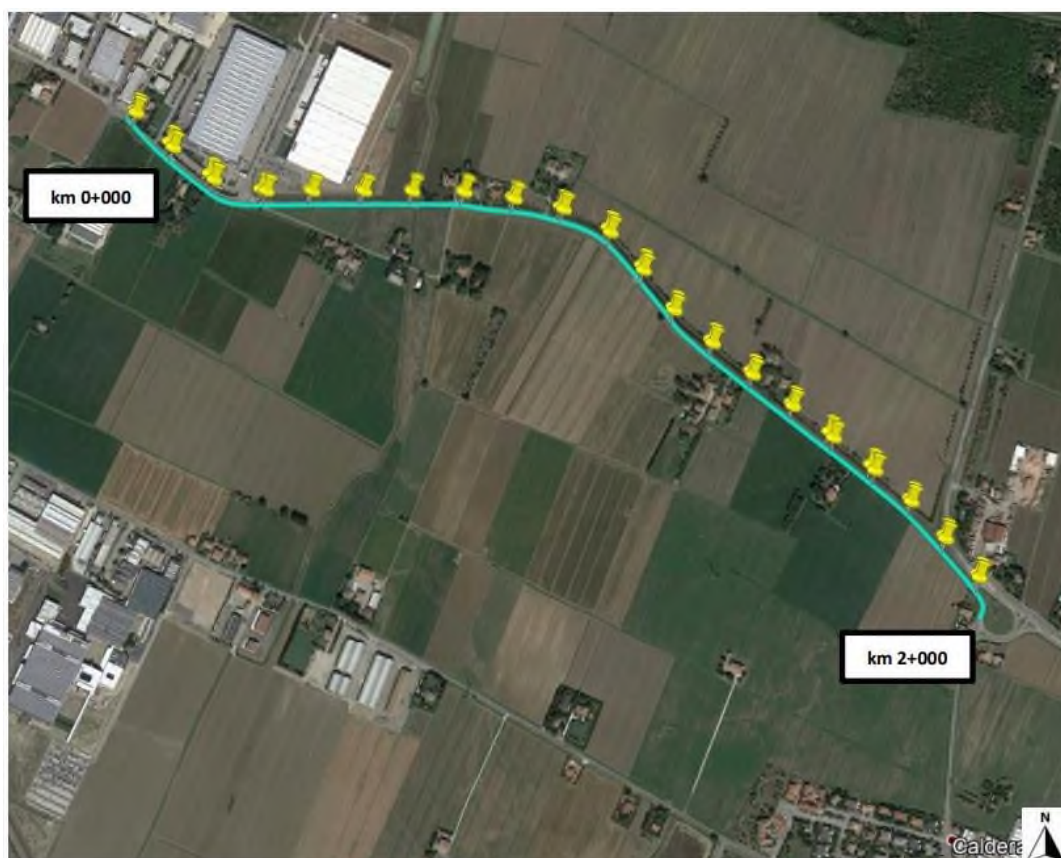


#### Sezioni omogenee\_via Valtiera dir Nord

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]
VN01	35	335	300	16,0	20,0	1465	893	101
VN02	335	639	304	16,0	20,0	1365	496	88
VN03	1242	1589	347	20,5	20,0	1681	330	196

#### Sezioni omogenee\_via Valtiera dir Sud

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]
VS01	0	605	605	16,9	20,0	1385	417	94
VS02	1172	1552	380	21,0	20,0	1733	328	147



**Sezioni omogenee\_via Stelloni Ponente dir Est**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]
SE01	0	1603	1603	12,9	20,7	3070	1048	117
SE02	1603	2000	397	13,0	16,0	1163	1162	84

**Sezioni omogenee\_via Stelloni Ponente dir Ovest**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]
SO01	0	597	597	13,4	20,3	2523	871	139
SO02	597	1592	995	13,0	25,0	3113	928	143
SO03	1592	1998	406	13,0	18,0	1600	636	86



**Sezioni omogenee\_via Corticella dir Est**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]
CE01	-43	120	163	8,0	30,0	4380	544	48
CE02	609	1010	401	7,8	30,0	4063	1082	72
CE03	1010	1211	201	7,0	30,0	2530	1427	143
CE04	1211	1461	250	15,7	26,7	6154	1380	91

**Sezioni omogenee\_via Corticella dir Ovest**

N° sezione	Pki [km]	Pkf [km]	L [m]	H1 [cm]	H2 [cm]	E1 (20°C) [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]
C001	0	203	203	12,0	30,0	3841	243	52
C002	441	950	509	9,1	30,0	3785	389	45
C003	950	1442	492	13,3	30,0	7598	911	83

## ALLEGATO B: ELABORAZIONE DEI DATI DI TEMPERATURA

Mese	Tmin	Tmax	$\Delta T$
Gen	-2,0	5,0	1,5
Feb	1,0	8,0	4,5
Mar	4,0	13,0	8,5
Apr	8,0	18,0	13,0
Mag	12,0	23,0	17,5
Giu	16,0	27,0	21,5
Lug	18,0	30,0	24,0
Ago	18,0	29,0	23,5
Set	15,0	25,0	20,0
Ott	10,0	19,0	14,5
Nov	4,0	11,0	7,5
Dic	0,0	6,0	3,0



## ALLEGATO C: ELABORAZIONE DEI DATI DI TRAFFICO

### Sezione VN01

	commerciali leggeri	commerciali pesanti			
TGMA attuale 2016	190	61			
TGMA programmatico 2030	208	78			
TGMA programmatico 2040	217	82			
TGMA progettuale 2030	185	72			
TGMA progettuale 2040	191	82			
Tasso di crescita annuale 2016-2030	0.01	0.02			
Progetto Tasso di crescita annuale 2030-2040	0.0032	0.0131			
$TGMA_i = TGMA_{ref} \cdot (1 + \text{Tasso di crescita}_i)^{(i-ref)}$					
<b>Ricostruzione del TGMA nel periodo di riferimento dell'analisi</b>					
TGMA	commerciali leggeri	commerciali pesanti			
2021	196	67			
2022	198	68			
2023	199	69			
2024	200	70			
2025	185	72			
2026	185	72			
2027	185	72			
2028	185	72			
2029	185	72			
2030	185	72			
2031	186	73			
2032	186	74			
2033	187	75			
2034	187	76			
2035	188	77			
<b>TGMA MEDIO 2021-2035</b>	<b>189</b>	<b>72</b>			
	commerciali leggeri	commerciali pesanti			
% carico corsia 2021-2035	100%	100%	Mese	n° assi 80 kN mese	
coeff. eq assi 80 kN (2021-2025)	2.5		GEN (31gg)	20,235	
coeff. eq assi 80 kN (2025-2035)	2.5		FEB (28gg)	18,276	
n° assi 80 kN giorno	653		MAR (31gg)	20,235	
			APR (30gg)	19,582	
			MAG (31gg)	20,235	
			GIU (30gg)	19,582	
			LUG (31gg)	20,235	
			AGO (31gg)	20,235	
			SET (30gg)	19,582	
			OTT (31gg)	20,235	
			NOV (30gg)	19,582	
			DIC (31gg)	20,235	
			<b>Traffico medio</b>	<b>19,854</b>	

### Calcolo coefficiente di equivalenza dello spettro di traffico – scenario progettuale

Tipo di veicolo	Frequenza %	n° assi	Distribuzione carico per asse [kN]					LEF				ΣLEF veicolo	LEF TOT <sub>i</sub>
1	13,47%	2	10	20				0,0002	0,0039			0,0042	0,0006
3	26,94%	2	40	80				0,0625	1,0000			1,0625	0,2862
4	16,12%	2	50	110				0,1526	3,5745			3,7271	0,6008
5	1,97%	3	40	80	80			0,0625	1,3800			1,4425	0,0284
6	10,00%	3	60	100	100			0,3164	2,7100			3,0264	0,3026
7	1,97%	4	40	90	80	80		0,0625	1,6018	1,0000	1,0000	3,6643	0,0721
8	4,02%	4	60	100	100	100		0,3164	2,4414	2,4414	2,4414	7,6406	0,3069
9	1,97%	5	40	80	80	80	80	0,0625	1,3800		1,3800	2,8225	0,0555
10	4,02%	5	60	90	90	100	100	0,3164	1,9800		2,7100	5,0064	0,2011
11	1,97%	5	40	100	80	80	80	0,0625	2,4414		1,6600	4,1639	0,0819
12	4,02%	5	60	110	90	90	90	0,3164	3,5745		2,3900	6,2809	0,2523
13	0,08%	5	50	120	130	130	130	0,1526	5,0625		7,4000	12,6151	0,0103
16	13,47%	2	50	80				0,1526	1,0000			1,1526	0,1553
<b>ESALF TOT</b>												<b>2,5</b>	

## ALLEGATO D: ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI ALLE MISCELE BITUMINOSE

- Sezione VN01

CONGLOMERATO BITUMINOSO ESISTENTE					
f1	0,400				
T rif [°C]	20,0				
T rif [°F]	68,0				
	E [20°C]	Tpav [°C]	T [°F]	E [MPa]	
GEN	1465	4,5	40,0	2937	
FEB		8,1	46,7	2573	
MAR		13,1	55,5	2090	
APR		18,6	65,4	1585	
MAG		24,1	75,4	1148	
GIU		29,0	84,2	830	
LUG		32,1	89,7	665	
AGO		31,5	88,6	696	
SET		27,2	80,9	941	
OTT		20,4	68,8	1431	
NOV		11,8	53,3	2209	
DIC		6,3	43,4	2756	

## ALLEGATO E: VERIFICA STRUTTURALE DELLA PAVIMENTAZIONE

### • Sezione VN01

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA=2, SO DAMAGE ANALYSIS WITH DETAILED PRINTOUT WILL BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 12  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 3  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 0  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 90  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa  
unit weight in kN/m<sup>3</sup>, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 16 20  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.4 0.4  
CONDITIONS OF INTERFACES (INT) ARE : 0 1

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2.937E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 2 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2.573E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 3 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2.090E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 4 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.585E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 5 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.148E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 6 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 8.299E+05 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 7 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 6.652E+05 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 8 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 6.961E+05 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 9 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 9.413E+05 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 10 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.431E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 11 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2.209E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

FOR PERIOD NO. 12 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2.756E+06 2 8.930E+05  
3 1.010E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS  
CONTACT RADIUS (CR)----- = 8.92  
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 800  
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3  
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0  
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 31.5

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 0.000 8.900  
3 0.000 15.800

NUMBER OF LAYERS FOR BOTTOM TENSION (NLBT)---- = 1  
NUMBER OF LAYERS FOR TOP COMPRESSION (NLTC)--- = 2  
LAYER NO. FOR BOTTOM TENSION (LNBT) ARE: 1  
LAYER NO. FOR TOP COMPRESSION (LNTC) ARE: 2 3

LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 1 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 2 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 3 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 4 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 5 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 6 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 7 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 8 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 9 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 10 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 11 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854  
 LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 12 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 19854

DAMAGE COEF.'S (FT) FOR BOTTOM TENSION OF LAYER 1 ARE: 0.4 3.291 0.854

DAMAGE COEFFICIENTS (FT) FOR TOP COMPRESSION OF LAYER 2 ARE: 1.365E-09 4.477

DAMAGE COEFFICIENTS (FT) FOR TOP COMPRESSION OF LAYER 3 ARE: 1.365E-09 4.477

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR STRESS (STRAIN)	MINOR STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.03472	164.973	164.973	-772.934	-636.807	
	(STRAIN)	-2.069E-04	2.242E-04	2.242E-04	-2.069E-04	-1.444E-04	
1	16.00010	0.03472	164.975	296.611	164.975	270.303	
	(STRAIN)	9.594E-05	-6.919E-05	1.372E-04	-6.919E-05	9.593E-05	
1	36.00010	0.03320	48.862	49.947	10.607	13.125	
	(STRAIN)	-1.448E-04	3.855E-04	4.005E-04	-1.448E-04	-1.099E-04	
2	16.00000	0.03566	131.603	131.603	-727.975	-479.000	
	(STRAIN)	-2.065E-04	1.886E-04	1.886E-04	-2.065E-04	-9.203E-05	
2	16.00010	0.03566	131.603	280.931	131.603	250.695	
	(STRAIN)	9.595E-05	-9.076E-05	1.433E-04	-9.076E-05	9.595E-05	
2	36.00010	0.03438	51.750	51.900	11.168	14.924	
	(STRAIN)	-1.541E-04	4.084E-04	4.105E-04	-1.541E-04	-1.020E-04	
3	16.00000	0.03575	107.448	107.448	-678.990	-364.775	
	(STRAIN)	-2.005E-04	1.610E-04	1.610E-04	-2.005E-04	-5.609E-05	
3	16.00010	0.03575	107.451	263.405	107.451	230.025	
	(STRAIN)	9.147E-05	-1.007E-04	1.438E-04	-1.007E-04	9.147E-05	
3	36.00010	0.03464	52.156	52.156	11.295	15.450	
	(STRAIN)	-1.559E-04	4.105E-04	4.105E-04	-1.559E-04	-9.833E-05	

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -2.069E-04

ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.596E+06 DAMAGE RATIO = 1.244E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00

ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 4.105E-04

ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.984E+06 DAMAGE RATIO = 1.001E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 2 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR STRESS (STRAIN)	MINOR STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.03550	176.950	176.950	-725.435	-595.348	
	(STRAIN)	-2.250E-04	2.484E-04	2.484E-04	-2.250E-04	-1.568E-04	
1	16.00010	0.03550	176.952	314.911	176.952	286.717	
	(STRAIN)	1.008E-04	-7.133E-05	1.450E-04	-7.133E-05	1.008E-04	
1	36.00010	0.03387	50.904	52.056	10.689	13.405	
	(STRAIN)	-1.534E-04	4.040E-04	4.200E-04	-1.534E-04	-1.158E-04	
2	16.00000	0.03647	139.799	139.799	-680.749	-438.363	
	(STRAIN)	-2.240E-04	2.066E-04	2.066E-04	-2.240E-04	-9.679E-05	
2	16.00010	0.03647	139.799	296.867	139.799	264.158	
	(STRAIN)	1.002E-04	-9.475E-05	1.515E-04	-9.475E-05	1.002E-04	

2	36.00010	0.03510	53.928	54.086	11.267	15.335
	(STRAIN)	-1.634E-04	4.280E-04	4.301E-04	-1.634E-04	-1.070E-04
3	16.00000	0.03655	113.088	113.088	-633.160	-326.066
	(STRAIN)	-2.171E-04	1.744E-04	1.744E-04	-2.171E-04	-5.598E-05
3	16.00010	0.03655	113.092	277.370	113.092	241.150
	(STRAIN)	9.515E-05	-1.056E-04	1.519E-04	-1.056E-04	9.515E-05
3	36.00010	0.03538	54.338	54.338	11.398	15.901
	(STRAIN)	-1.653E-04	4.299E-04	4.299E-04	-1.653E-04	-1.029E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -2.250E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.356E+06 DAMAGE RATIO = 1.464E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 4.299E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.613E+06 DAMAGE RATIO = 1.231E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 3 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR STRESS (STRAIN)	MINOR STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.03667	196.430	196.430	-653.252	-532.636	
	(STRAIN)	-2.562E-04	2.926E-04	2.926E-04	-2.562E-04	-1.783E-04	
1	16.00010	0.03667	196.432	344.068	196.432	312.874	
	(STRAIN)	1.083E-04	-7.429E-05	1.572E-04	-7.429E-05	1.083E-04	
1	36.00010	0.03486	54.038	55.293	10.774	13.810	
	(STRAIN)	-1.670E-04	4.327E-04	4.501E-04	-1.670E-04	-1.249E-04	
2	16.00000	0.03768	152.795	152.795	-609.492	-377.689	
	(STRAIN)	-2.539E-04	2.384E-04	2.384E-04	-2.539E-04	-1.042E-04	
2	16.00010	0.03768	152.794	321.851	152.794	285.116	
	(STRAIN)	1.067E-04	-1.008E-04	1.643E-04	-1.008E-04	1.067E-04	
2	36.00010	0.03618	57.263	57.430	11.375	15.952	
	(STRAIN)	-1.780E-04	4.581E-04	4.604E-04	-1.780E-04	-1.146E-04	
3	16.00000	0.03774	121.744	121.744	-564.385	-268.831	
	(STRAIN)	-2.454E-04	1.978E-04	1.978E-04	-2.454E-04	-5.450E-05	
3	16.00010	0.03774	121.744	298.974	121.744	258.105	
	(STRAIN)	1.006E-04	-1.132E-04	1.647E-04	-1.132E-04	1.006E-04	
3	36.00010	0.03647	57.672	57.672	11.510	16.585	
	(STRAIN)	-1.801E-04	4.597E-04	4.597E-04	-1.801E-04	-1.098E-04	

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -2.562E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.056E+06 DAMAGE RATIO = 1.880E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 4.597E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.194E+06 DAMAGE RATIO = 1.663E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 4 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR STRESS (STRAIN)	MINOR STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.03812	223.178	223.178	-562.624	-454.339	
	(STRAIN)	-3.040E-04	3.654E-04	3.654E-04	-3.040E-04	-2.117E-04	
1	16.00010	0.03812	223.177	382.986	223.177	347.820	
	(STRAIN)	1.180E-04	-7.743E-05	1.731E-04	-7.743E-05	1.180E-04	
1	36.00010	0.03607	58.013	59.397	10.813	14.283	
	(STRAIN)	-1.847E-04	4.695E-04	4.887E-04	-1.847E-04	-1.366E-04	
2	16.00000	0.03917	169.989	169.989	-521.063	-303.509	
	(STRAIN)	-2.993E-04	2.894E-04	2.894E-04	-2.993E-04	-1.140E-04	
2	16.00010	0.03917	169.987	354.395	169.987	312.148	

(STRAIN) 1.147E-04 -1.082E-04 1.809E-04 -1.082E-04 1.147E-04  
2 36.00010 0.03749 61.470 61.647 11.437 16.711  
(STRAIN) -1.971E-04 4.964E-04 4.989E-04 -1.971E-04 -1.240E-04

3 16.00000 0.03920 132.605 132.605 -479.744 -199.870  
(STRAIN) -2.879E-04 2.338E-04 2.338E-04 -2.879E-04 -4.945E-05  
3 16.00010 0.03920 132.611 326.547 132.611 279.247  
(STRAIN) 1.070E-04 -1.229E-04 1.812E-04 -1.229E-04 1.070E-04  
3 36.00010 0.03781 61.862 61.862 11.576 17.437  
(STRAIN) -1.994E-04 4.976E-04 4.976E-04 -1.994E-04 -1.182E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -3.040E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 7.626E+05 DAMAGE RATIO = 2.603E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 4.976E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 8.380E+05 DAMAGE RATIO = 2.369E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 5 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR STRESS (STRAIN)	MINOR STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.03963	254.511	254.511	-466.475	-371.699	
	(STRAIN)	-3.706E-04	4.772E-04	4.772E-04	-3.706E-04	-2.591E-04	
1	16.00010	0.03963	254.511	427.121	254.511	387.531	
	(STRAIN)	1.286E-04	-7.990E-05	1.907E-04	-7.990E-05	1.286E-04	
1	36.00010	0.03730	62.256	63.775	10.772	14.739	
	(STRAIN)	-2.043E-04	5.094E-04	5.304E-04	-2.043E-04	-1.493E-04	
2	16.00000	0.04070	189.215	189.215	-428.767	-227.494	
	(STRAIN)	-3.618E-04	3.648E-04	3.648E-04	-3.618E-04	-1.251E-04	
2	16.00010	0.04070	189.212	390.151	189.212	341.487	
	(STRAIN)	1.229E-04	-1.158E-04	1.992E-04	-1.158E-04	1.229E-04	
2	36.00010	0.03883	65.924	66.108	11.412	17.499	
	(STRAIN)	-2.181E-04	5.375E-04	5.400E-04	-2.181E-04	-1.338E-04	
3	16.00000	0.04069	143.912	143.912	-392.448	-130.755	
	(STRAIN)	-3.458E-04	2.848E-04	2.848E-04	-3.458E-04	-3.812E-05	
3	16.00010	0.04069	143.912	356.009	143.912	301.136	
	(STRAIN)	1.133E-04	-1.332E-04	1.993E-04	-1.332E-04	1.133E-04	
3	36.00010	0.03916	66.276	66.276	11.554	18.333	
	(STRAIN)	-2.207E-04	5.378E-04	5.378E-04	-2.207E-04	-1.267E-04	

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -3.706E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 5.233E+05 DAMAGE RATIO = 3.794E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 5.378E-04  
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 5.916E+05 DAMAGE RATIO = 3.356E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 6 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR STRESS (STRAIN)	MINOR STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.04095	285.010	285.010	-381.169	-298.645	
	(STRAIN)	-4.536E-04	6.301E-04	6.301E-04	-4.536E-04	-3.193E-04	
1	16.00010	0.04095	285.010	468.750	285.010	425.092	
	(STRAIN)	1.384E-04	-8.122E-05	2.068E-04	-8.122E-05	1.384E-04	
1	36.00010	0.03834	66.023	67.656	10.665	15.103	
	(STRAIN)	-2.222E-04	5.452E-04	5.678E-04	-2.222E-04	-1.606E-04	
2	16.00000	0.04201	207.026	207.026	-348.443	-162.584	
	(STRAIN)	-4.386E-04	4.650E-04	4.650E-04	-4.386E-04	-1.363E-04	

2	16.00010	0.04201	207.024	422.724	207.024	367.881
	(STRAIN)	1.299E-04	-1.223E-04	2.159E-04	-1.223E-04	1.299E-04
2	36.00010	0.03996	69.836	70.024	11.311	18.181
	(STRAIN)	-2.373E-04	5.739E-04	5.765E-04	-2.373E-04	-1.421E-04
3	16.00000	0.04195	153.506	153.506	-317.517	-73.258
	(STRAIN)	-4.164E-04	3.498E-04	3.498E-04	-4.164E-04	-1.910E-05
3	16.00010	0.04195	153.506	381.992	153.506	319.737
	(STRAIN)	1.182E-04	-1.424E-04	2.158E-04	-1.424E-04	1.182E-04
3	36.00010	0.04031	70.132	70.132	11.453	19.122
	(STRAIN)	-2.401E-04	5.733E-04	5.733E-04	-2.401E-04	-1.338E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -4.536E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.550E+05 DAMAGE RATIO = 5.592E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 5.739E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 4.424E+05 DAMAGE RATIO = 4.488E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 7 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.04172	304.539	304.539	-330.104	-254.989
	(STRAIN)	-5.223E-04	7.656E-04	7.656E-04	-5.223E-04	-3.699E-04
1	16.00010	0.04172	304.539	494.789	304.539	448.647
	(STRAIN)	1.444E-04	-8.156E-05	2.167E-04	-8.156E-05	1.444E-04
1	36.00010	0.03893	68.272	69.969	10.570	15.302
	(STRAIN)	-2.331E-04	5.668E-04	5.903E-04	-2.331E-04	-1.675E-04
2	16.00000	0.04277	217.987	217.987	-301.165	-124.958
	(STRAIN)	-5.017E-04	5.519E-04	5.519E-04	-5.017E-04	-1.441E-04
2	16.00010	0.04277	217.983	442.518	217.983	383.762
	(STRAIN)	1.339E-04	-1.260E-04	2.260E-04	-1.260E-04	1.339E-04
2	36.00010	0.04061	72.150	72.339	11.217	18.583
	(STRAIN)	-2.490E-04	5.956E-04	5.982E-04	-2.490E-04	-1.469E-04
3	16.00000	0.04268	158.954	158.954	-273.954	-40.722
	(STRAIN)	-4.740E-04	4.045E-04	4.045E-04	-4.740E-04	-7.089E-07
3	16.00010	0.04268	158.954	397.339	158.954	330.359
	(STRAIN)	1.208E-04	-1.480E-04	2.258E-04	-1.480E-04	1.208E-04
3	36.00010	0.04097	72.400	72.400	11.358	19.592
	(STRAIN)	-2.519E-04	5.943E-04	5.943E-04	-2.519E-04	-1.377E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -5.223E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.695E+05 DAMAGE RATIO = 7.367E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 5.956E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.747E+05 DAMAGE RATIO = 5.298E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 8 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS
1	16.00000	0.04157	300.638	300.638	-340.105	-263.537
	(STRAIN)	-5.072E-04	7.354E-04	7.354E-04	-5.072E-04	-3.588E-04
1	16.00010	0.04157	300.638	489.623	300.638	443.970
	(STRAIN)	1.432E-04	-8.152E-05	2.148E-04	-8.152E-05	1.432E-04
1	36.00010	0.03882	67.832	69.517	10.590	15.264
	(STRAIN)	-2.309E-04	5.625E-04	5.859E-04	-2.309E-04	-1.661E-04
2	16.00000	0.04262	215.823	215.823	-310.374	-132.251



(STRAIN) -4.879E-04 5.326E-04 5.326E-04 -4.879E-04 -1.425E-04  
 2 16.00010 0.04262 215.821 438.627 215.821 380.650  
 (STRAIN) 1.331E-04 -1.253E-04 2.240E-04 -1.253E-04 1.331E-04  
 2 36.00010 0.04049 71.699 71.888 11.237 18.505  
 (STRAIN) -2.467E-04 5.913E-04 5.940E-04 -2.467E-04 -1.460E-04  
 3 16.00000 0.04254 157.908 157.908 -282.404 -46.978  
 (STRAIN) -4.615E-04 3.925E-04 3.925E-04 -4.615E-04 -4.891E-06  
 3 16.00010 0.04254 157.908 394.350 157.908 328.313  
 (STRAIN) 1.203E-04 -1.469E-04 2.238E-04 -1.469E-04 1.203E-04  
 3 36.00010 0.04084 71.959 71.959 11.379 19.500  
 (STRAIN) -2.496E-04 5.902E-04 5.902E-04 -2.496E-04 -1.370E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -5.072E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.855E+05 DAMAGE RATIO = 6.955E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 5.913E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.869E+05 DAMAGE RATIO = 5.132E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 9 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL.	VERTICAL PRINCIPAL STRESS	VERTICAL PRINCIPAL STRAIN	MAJOR PRINCIPAL STRESS	MINOR PRINCIPAL STRAIN	INTERMEDIATE PRINCIPAL STRESS
			(HORIZONTAL P. STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)

1	16.00000	0.04046	273.388	273.388	-412.824	-325.733	
		(STRAIN)	-4.191E-04	5.651E-04	5.651E-04	-4.191E-04	-2.942E-04
1	16.00010	0.04046	273.387	453.031	273.388	410.894	
		(STRAIN)	1.347E-04	-8.083E-05	2.008E-04	-8.083E-05	1.347E-04
1	36.00010	0.03796	64.626	66.217	10.712	14.972	
		(STRAIN)	-2.155E-04	5.318E-04	5.539E-04	-2.155E-04	-1.564E-04
2	16.00000	0.04153	200.340	200.340	-378.063	-186.380	
		(STRAIN)	-4.068E-04	4.227E-04	4.227E-04	-4.068E-04	-1.319E-04
2	16.00010	0.04153	200.338	410.556	200.338	358.061	
		(STRAIN)	1.273E-04	-1.199E-04	2.096E-04	-1.199E-04	1.273E-04
2	36.00010	0.03955	68.390	68.578	11.357	17.930	
		(STRAIN)	-2.302E-04	5.604E-04	5.630E-04	-2.302E-04	-1.390E-04
3	16.00000	0.04149	150.009	150.009	-345.022	-94.149	
		(STRAIN)	-3.873E-04	3.227E-04	3.227E-04	-3.873E-04	-2.751E-05
3	16.00010	0.04149	150.009	372.388	150.009	312.947	
		(STRAIN)	1.164E-04	-1.390E-04	2.096E-04	-1.390E-04	1.164E-04
3	36.00010	0.03989	68.710	68.710	11.499	18.830	
		(STRAIN)	-2.328E-04	5.602E-04	5.602E-04	-2.328E-04	-1.312E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -4.191E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 4.134E+05 DAMAGE RATIO = 4.802E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 5.604E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 4.922E+05 DAMAGE RATIO = 4.034E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 10 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL.	VERTICAL PRINCIPAL STRESS	VERTICAL PRINCIPAL STRAIN	MAJOR PRINCIPAL STRESS	MINOR PRINCIPAL STRAIN	INTERMEDIATE PRINCIPAL STRESS
			(HORIZONTAL P. STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)

1	16.00000	0.03863	233.164	233.164	-530.918	-427.042	
		(STRAIN)	-3.237E-04	3.974E-04	3.974E-04	-3.237E-04	-2.257E-04
1	16.00010	0.03863	233.164	397.214	233.164	360.614	
		(STRAIN)	1.215E-04	-7.835E-05	1.788E-04	-7.835E-05	1.215E-04
1	36.00010	0.03648	59.411	60.840	10.809	14.439	
		(STRAIN)	-1.911E-04	4.826E-04	5.024E-04	-1.911E-04	-1.408E-04



2	16.00000	0.03968	176.222	176.222	-490.440	-278.124
	(STRAIN)	-3.179E-04	3.112E-04	3.112E-04	-3.179E-04	-1.175E-04
2	16.00010	0.03968	176.220	366.058	176.220	321.760
	(STRAIN)	1.174E-04	-1.108E-04	1.869E-04	-1.108E-04	1.174E-04
2	36.00010	0.03794	62.942	63.121	11.439	16.973
	(STRAIN)	-2.040E-04	5.099E-04	5.124E-04	-2.040E-04	-1.272E-04
3	16.00000	0.03970	136.377	136.377	-450.657	-176.614
	(STRAIN)	-3.052E-04	2.488E-04	2.488E-04	-3.052E-04	-4.657E-05
3	16.00010	0.03970	136.377	336.257	136.377	286.548
	(STRAIN)	1.092E-04	-1.263E-04	1.871E-04	-1.263E-04	1.092E-04
3	36.00010	0.03826	63.323	63.323	11.580	17.733
	(STRAIN)	-2.064E-04	5.109E-04	5.109E-04	-2.064E-04	-1.211E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -3.237E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 6.767E+05 DAMAGE RATIO = 2.934E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 5.109E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 7.448E+05 DAMAGE RATIO = 2.666E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 11 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS (STRAIN)
1	16.00000	0.03637	191.177	191.177	-672.151	-549.023
	(STRAIN)	-2.476E-04	2.800E-04	2.800E-04	-2.476E-04	-1.723E-04
1	16.00010	0.03637	191.180	336.276	191.180	305.883
	(STRAIN)	1.063E-04	-7.355E-05	1.539E-04	-7.355E-05	1.063E-04
1	36.00010	0.03461	53.214	54.442	10.756	13.707
	(STRAIN)	-1.634E-04	4.251E-04	4.421E-04	-1.634E-04	-1.225E-04
2	16.00000	0.03737	149.330	149.330	-628.083	-393.440
	(STRAIN)	-2.456E-04	2.294E-04	2.294E-04	-2.456E-04	-1.023E-04
2	16.00010	0.03737	149.330	315.224	149.330	279.576
	(STRAIN)	1.050E-04	-9.921E-05	1.609E-04	-9.921E-05	1.050E-04
2	36.00010	0.03590	56.388	56.553	11.351	15.791
	(STRAIN)	-1.741E-04	4.502E-04	4.524E-04	-1.741E-04	-1.126E-04
3	16.00000	0.03743	119.465	119.465	-582.271	-283.589
	(STRAIN)	-2.376E-04	1.913E-04	1.913E-04	-2.376E-04	-5.505E-05
3	16.00010	0.03743	119.474	293.279	119.474	253.668
	(STRAIN)	9.918E-05	-1.112E-04	1.613E-04	-1.112E-04	9.918E-05
3	36.00010	0.03619	56.798	56.798	11.486	16.406
	(STRAIN)	-1.762E-04	4.519E-04	4.519E-04	-1.762E-04	-1.080E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -2.476E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.128E+06 DAMAGE RATIO = 1.760E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 4.519E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.290E+06 DAMAGE RATIO = 1.539E-02

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 12 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS (STRAIN)
1	16.00000	0.03510	170.686	170.686	-749.954	-616.729
	(STRAIN)	-2.155E-04	2.355E-04	2.355E-04	-2.155E-04	-1.502E-04
1	16.00010	0.03510	170.688	305.376	170.688	278.166
	(STRAIN)	9.825E-05	-7.025E-05	1.409E-04	-7.025E-05	9.825E-05
1	36.00010	0.03353	49.848	50.965	10.649	13.262
	(STRAIN)	-1.489E-04	3.944E-04	4.099E-04	-1.489E-04	-1.127E-04

2 16.00000 0.03605 135.532 135.532 -705.096 -459.272  
 (STRAIN) -2.147E-04 1.971E-04 1.971E-04 -2.147E-04 -9.432E-05  
 2 16.00010 0.03605 135.532 288.590 135.532 257.173  
 (STRAIN) 9.801E-05 -9.269E-05 1.473E-04 -9.269E-05 9.801E-05  
 2 36.00010 0.03473 52.802 52.956 11.218 15.123  
 (STRAIN) -1.585E-04 4.179E-04 4.200E-04 -1.585E-04 -1.044E-04  
  
 3 16.00000 0.03613 110.169 110.169 -656.765 -345.949  
 (STRAIN) -2.084E-04 1.673E-04 1.673E-04 -2.084E-04 -5.611E-05  
 3 16.00010 0.03613 110.173 270.133 110.173 235.400  
 (STRAIN) 9.326E-05 -1.031E-04 1.477E-04 -1.031E-04 9.326E-05  
 3 36.00010 0.03500 53.210 53.210 11.348 15.668  
 (STRAIN) -1.604E-04 4.198E-04 4.198E-04 -1.604E-04 -1.005E-04

AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = -2.155E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.475E+06 DAMAGE RATIO = 1.346E-02

AT TOP OF LAYER 2 COMPRESSIVE STRAIN = 0.000E+00  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00

AT TOP OF LAYER 3 COMPRESSIVE STRAIN = 4.198E-04  
 ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.793E+06 DAMAGE RATIO = 1.107E-02

\*\*\*\*\*

**\* SUMMARY OF DAMAGE ANALYSIS \***

\*\*\*\*\*

AT BOTTOM OF LAYER 1 SUM OF DAMAGE RATIO = 4.174E-01  
 AT TOP OF LAYER 2 SUM OF DAMAGE RATIO = 0.000E+00  
 AT TOP OF LAYER 3 SUM OF DAMAGE RATIO = 3.388E-01

**MAXIMUM DAMAGE RATIO = 4.174E-01 DESIGN LIFE IN YEARS = 2.4**

mesi	tensile strain	E* [Mpa]	E* [psi]	Vb [%]	Va [%]	N Asphalt Institute	n_mese	danno n/N
1	2.07E-04	2937	425960.54	11	5	1.61E+06	19,854	1.24E-02
2	2.25E-04	2573	373177.51	11	5	1.36E+06	19,854	1.46E-02
3	2.56E-04	2090	303146.18	11	5	1.06E+06	19,854	1.87E-02
4	3.04E-04	1585	229851.74	11	5	7.66E+05	19,854	2.59E-02
5	3.71E-04	1148	166528.26	11	5	5.26E+05	19,854	3.78E-02
6	4.54E-04	830	120363.35	11	5	3.57E+05	19,854	5.57E-02
7	5.22E-04	665	96482.073	11	5	2.71E+05	19,854	7.33E-02
8	5.07E-04	696	100958.75	11	5	2.87E+05	19,854	6.92E-02
9	4.19E-04	941	136519.95	11	5	4.16E+05	19,854	4.78E-02
10	3.24E-04	1431	207486.37	11	5	6.80E+05	19,854	2.92E-02
11	2.48E-04	2209	320391.74	11	5	1.13E+06	19,854	1.75E-02
12	2.16E-04	2756	399705.33	11	5	1.48E+06	19,854	1.34E-02

2.38E+05 4.15E-01

**2.41**

**VITA UTILE**