


ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA




PROGETTO ESECUTIVO

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p> 	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Salvatore Lieto</p>
--	---	--

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese

Mandataria:

			
--	--	---	--

<p>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'ATI</p> <p>Ing. Antonio Grimaldi</p> <p>GEOLOGO</p> <p>Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p>Ing. Michele Curiale</p>			
---	---	--	---

<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p>Ing. Iginio Farotti</p>		
---	--	--

<p>2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</p> <p>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud</p> <p>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia</p> <p>PROGETTO STRADALE</p> <p>Relazione di calcolo pavimentazione stradale</p>	<p>SCALA:</p> <p style="text-align: center;">-</p> <p>DATA:</p> <p style="text-align: center;">Settembre 2020</p>
---	---

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
	L 0 7 0 3	2 1 3	E	0 6	C S 0 0 0 0	R E L	0 3	A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Controllato	Approvato
A	Settembre 2020	Emissione a seguito istruttoria ANAS	TEMA E. Santagata	S. Lieto	A. Grimaldi



LABORATORIO SPERIMENTALE
MATERIALI DA COSTRUZIONE
Aut. Min. LL.PP. 24029/1983

**Asse Viario Marche-Umbria e Quadrilatero di Penetrazione
Interna – Maxi Lotto 2
Pedemontana delle Marche – 3° e 4° Lotto funzionale**

RELAZIONE TECNICA PAVIMENTAZIONI

predisposta per
DIRPA 2 s.c.a.r.l.

15/09/2020

Indice

1. Premessa	2
2. Analisi della documentazione disponibile	4
3. Descrizione della metodologia di calcolo	11
4. Valutazione del traffico di progetto	15
5. Valutazione delle temperature di progetto	18
6. Definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali di progetto	19
7. Valutazione della vita utile delle pavimentazioni	24
8. Conclusioni	27
Riferimenti bibliografici	29
Allegato A	30

1. Premessa

Nella presente relazione vengono esposti i risultati ottenuti nei calcoli di verifica del dimensionamento della pavimentazione stradale dell'asse principale del 3° e 4° lotto funzionale della Pedemontana delle Marche (tratto Fabriano Muccia-Sfercia) (di seguito, "Pedemontana") (tratti in rilevato e/o trincea). La relazione è stata predisposta a supporto delle attività di revisione del Progetto Esecutivo trasmesso ad ANAS in data 11/06/20 (nota n. QMU-2810-P) e in particolare per dare adeguato riscontro alle osservazioni contenute nella conseguente istruttoria della stessa ANAS (prot. CDG-377480-P) del 24/07/20.

L'incarico relativo all'esecuzione delle analisi sopra riportate è stato conferito al Laboratorio Sperimentale TEMA s.s. di Fano (PU) (di seguito, "TEMA") da parte della DIRPA 2 s.c.a.r.l. (di seguito "DIRPA 2"), Contraente Generale dei lavori di realizzazione della Pedemontana. La responsabilità scientifica delle analisi e valutazioni relative alla pavimentazione in questione da parte di TEMA è stata assegnata al prof. Ezio Santagata, professore ordinario di "Strade, Ferrovie e Aeroporti" nel Politecnico di Torino. Quale referente di DIRPA 2 è stato indicato l'ing. Salvatore Lieto.

Occorre sottolineare che TEMA ha in precedenza effettuato uno studio, di carattere sperimentale e teorico, finalizzato all'ottimizzazione della sovrastruttura stradale prevista per il Lotto funzionale del sub lotto 2.1 (altrimenti detto "lotto1") appartenente alla medesima infrastruttura. Nello specifico, tale studio ha trattato la possibile sostituzione del bi-strato di fondazione e sottofondazione previsto nel Progetto Esecutivo (costituito da 20 cm di misto cementato prodotto in impianto, sovrapposto a 20 cm di misto granulare stabilizzato granulometricamente) con un unico strato di fondazione (di spessore pari a 30 cm) realizzato mediante stabilizzazione a cemento in situ. Per quest'ultimo, si è inoltre prevista una specifica valutazione legata alla possibile inclusione all'interno della sua struttura di fresato bituminoso (con un dosaggio non superiore al 40%). Gli esiti delle indagini e analisi sono stati pienamente positivi e hanno confermato la possibilità di procedere all'ottimizzazione della sovrastruttura secondo quanto sopra illustrato.

I calcoli di verifica del dimensionamento della pavimentazione stradale riportati nella presente relazione sono stati effettuati utilizzando una procedura di tipo razionale. Essa è basata sulla modellazione analitica della pavimentazione come sistema multi-

strato sottoposto alle sollecitazioni causate dai veicoli in transito in condizioni climatiche variabili. A tale scopo sono stati utilizzati diversi modelli analitici che consentono di tenere conto degli effetti sulle prestazioni della pavimentazione di vari fattori quali la composizione dei materiali, il loro stato di addensamento, l'evoluzione delle loro caratteristiche nel corso del tempo, e la temperatura. Ai fini delle verifiche prestazionali si è assunta, sulla base delle indicazioni fornite dai Progettisti, una vita utile pari a 20 anni.

Occorre sottolineare che l'adozione di una procedura del tipo sopra descritto è avvenuta anche in considerazione di una specifica osservazione di ANAS emersa a seguito dell'istruttoria precedentemente menzionata. Nella scheda di merito relativa alla disciplina STD (strade) si è infatti raccomandato di utilizzare una metodologia e un programma di calcolo che conducano a valutazioni più affidabili rispetto a quelle derivanti dall'applicazione di metodologie di tipo empirico.

La procedura è stata articolata in modo tale da essere correlabile in maniera diretta con le prescrizioni, relative ai risultati delle prove eseguite sulla pavimentazione e sui singoli materiali e strati nelle fasi di accettazione, realizzazione e collaudo, così come descritte all'interno delle Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto. Nello specifico caso della fondazione da realizzarsi mediante stabilizzazione a cemento in situ, si è fatto riferimento agli esiti del precedente studio TEMA e in particolare ai contenuti dell'articolo con il quale si è proposto di integrare le su citate Norme Tecniche.

Nel seguito vengono presentati i risultati salienti ottenuti durante le varie attività di analisi e modellazione nelle quali la verifica di dimensionamento è stata articolata. In particolare, vengono trattati i seguenti punti:

- analisi della documentazione disponibile (**capitolo 2**);
- descrizione della metodologia di calcolo (**capitolo 3**);
- valutazione del traffico di progetto (**capitolo 4**);
- valutazione delle temperature di progetto (**capitolo 5**);
- definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali di progetto (**capitolo 6**);
- valutazione della vita utile delle pavimentazioni (**capitolo 7**).

Nelle conclusioni (**paragrafo 8**) vengono sintetizzati gli esiti dello studio, con alcune precisazioni in ordine alla valenza che lo stesso può assumere per la progettazione della pavimentazione di tutti i

lotti della Pedemontana. Vengono inoltre fornite indicazioni circa gli accorgimenti costruttivi che potranno essere messi in atto per massimizzare le prestazioni delle pavimentazioni.

Nell'**Allegato A** vengono riportati i valori dei dati di input impiegati per il calcolo della sovrastruttura ed i tabulati di output generati dal software utilizzato per il calcolo.

2. Analisi della documentazione disponibile

DIRPA 2 e i suoi Progettisti hanno messo a disposizione di TEMA la seguente documentazione tecnica:

- corografia di inquadramento della Pedemontana (in scala 1:25.000);
- Relazione Tecnica Generale del Progetto Esecutivo dei lotti 3° e 4°;
- Relazioni Tecniche Generali dei Progetti Esecutivi relativi agli altri lotti funzionali (1° e 2°);
- Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto (facenti parte del Progetto Esecutivo dei vari lotti);
- Documento intitolato "Studio di Impatto Ambientale – Quadro di Riferimento Progettuale" (datato dicembre 2002 e facente parte della documentazione posta a base di gara da parte della Regione Marche).

Per ciascuno dei documenti ed elaborati sopra citati vengono nel seguito riassunti gli elementi salienti, ritenuti utili ai fini della verifica del dimensionamento della pavimentazione dei lotti 3° e 4°.

2.1 Corografia di inquadramento

La corografia di inquadramento indica che il tracciato della Pedemontana si sviluppa, per una lunghezza complessiva di circa 30,878 km, dalla periferia del centro abitato di Fabriano fino allo svincolo di Muccia-Sfercia. I lotti 3° e 4° sono collocati nella parte ovest dell'infrastruttura, per una lunghezza complessiva di 13,118 km, e collegano lo svincolo di Castelraimondo Nord allo svincolo di Camerino Sud (oltre a 4,250 km di riabilitazione della SP 256).

Ai fini della verifica del dimensionamento della pavimentazione, quanto riportato in corografia è stato utile per l'individuazione delle stazioni meteorologiche cui fare riferimento ai fini della valutazione

delle temperature caratteristiche degli strati legati a bitume (v. **capitolo 5**).

2.2 Relazioni Tecniche Generali

Dall'analisi della Relazione Tecnica Generale del Progetto Esecutivo dei lotti 3° e 4°, risulta che all'atto della redazione del Progetto Esecutivo si è previsto che per l'asse principale dell'infrastruttura la sovrastruttura sia realizzata con le stratigrafie indicate in **Tabella 1**, variabili a seconda della tipologia di sezione presa in esame.

Tabella 1. Stratigrafie delle sovrastrutture previste nel Progetto Esecutivo dei lotti 3° e 4° per l'asse principale dell'infrastruttura

Sezione in rilevato o trincea	Sezione in galleria	Sezione in viadotto
Strato di usura in conglomerato bituminoso: spessore cm 4	Strato di usura in conglomerato bituminoso: spessore cm 4	Strato di usura in conglomerato bituminoso: spessore cm 4
Strato di collegamento in conglomerato bituminoso: spessore cm 4	Strato di collegamento in conglomerato bituminoso: spessore cm 4	Strato di collegamento in conglomerato bituminoso: spessore cm 4
Strato di base in conglomerato bituminoso: spessore cm 8	Strato di base in conglomerato bituminoso: spessore cm 8	-
Strato di fondazione in misto stabilizzato a cemento in situ: spessore cm 30	-	-
-	Strato di sottofondazione in materiale misto granulare: spessore variabile	-
-	-	Strato di impermeabilizzazione con leganti cementizi con polimeri: spessore cm 1
Sottofondo	Sottofondo	Impalcato

Occorre precisare che la sezione tipo riportata in **Tabella 1** per i tratti in rilevato e trincea differisce da quella descritta nelle Relazioni Tecniche Generali degli altri lotti (1° e 2°). Queste ultime contemplano infatti la realizzazione di un bi-strato costituito da uno strato di fondazione in misto cementato (spessore 20 cm) poggiante su uno strato di sottofondazione in misto granulare (spessore 20 cm).

Nell'ambito della presente Relazione Tecnica le analisi e valutazioni sono state esclusivamente concentrate sulla pavimentazione avente la stratigrafia prevista per i lotti 3° e 4° (v. **Tabella 1**). Tuttavia, occorre segnalare che nell'ambito del precedente studio di TEMA le prestazioni strutturali associate alla pavimentazione realizzata con tale stratigrafia (con un solo strato di fondazione costituito da misto granulare stabilizzato a cemento in situ) sono state messe a

confronto con quelle della pavimentazione prevista per gli altri due lotti. Gli esiti di tale confronto sono stati del tutto positivi ed hanno corroborato l'orientamento di DIRPA 2 e dei suoi Progettisti a proporre per tutti i lotti della Pedemontana, in Progetto Esecutivo o in perizia di variante rispetto ad esso, la stratigrafia con fondazione in misto granulare stabilizzato a cemento in situ.

Nelle tre Relazioni Tecniche Generali prese in esame sono esplicitamente riportati i risultati dei calcoli eseguiti per la verifica di dimensionamento della pavimentazione prevista per i tratti in rilevato o trincea. Essi sono stati eseguiti impiegando il procedimento, di tipo empirico-statistico, indicato nella *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures del 1993 [1]*.

In linea con la raccomandazione formulata da ANAS nell'ambito della propria istruttoria, nello studio descritto in questa Relazione Tecnica la metodologia AASHTO non è stata più utilizzata. Di conseguenza, non risulta opportuno richiamare in maniera dettagliata l'articolazione dei calcoli effettuati dai Progettisti con tale metodologia. Sono però rilevanti le scelte operate dai Progettisti per ciò che attiene al traffico di progetto, che vengono qui di seguito illustrate.

Per il calcolo del traffico di progetto, in tutte e tre le Relazioni Tecniche Generali si è fatto riferimento a dati desunti dal già citato documento intitolato "Studio di Impatto Ambientale – Quadro di Riferimento Progettuale".

In particolare, per il 3° e 4° lotto il traffico giornaliero medio di mezzi pesanti (TGM_{pes}) da assumere come valore iniziale (all'apertura al traffico) è stato assunto pari al massimo valore del TGM_{pes} determinato nello studio di mobilità sulle varie tratte componenti il lotto (per l'anno 2028). Il tasso di incremento medio annuo del traffico pesante (r) è stato assunto pari all'1,8%, e dunque coincidente con il tasso di crescita media annua della domanda di trasporto (merci) indicato nello studio di mobilità per il periodo 2018-2028.

Nelle Relazioni Tecniche degli altri lotti le scelte effettuate dai Progettisti per le grandezze sopra riportate sono state leggermente differenti. Nel caso del lotto 2, per il valore iniziale del TGM_{pes} si è fatto riferimento alle proiezioni all'anno 2018 e si è assunto un valore del tasso di incremento annuo del traffico pesante pari al 2,5% (valore che coincide con il tasso di crescita media annua della domanda di trasporto merci indicato nello studio di mobilità per il

periodo 2008-2018). Nel caso del lotto 1 il valore iniziale del TGM_{pes} è stato desunto dalle proiezioni di traffico al 2028, mentre si è utilizzato un tasso di crescita annua del 2,5%.

Per completezza è opportuno segnalare che nell'ambito dei calcoli di verifica riportati nelle Relazioni Tecniche Generali il numero complessivo di mezzi pesanti calcolati per 20 anni di esercizio sono stati convertiti in assi standard (da 80 kN) a mezzo di opportuni coefficienti di equivalenza (C_{eq}). Nel caso specifico del lotto 3° e 4°, il valore di C_{eq} è stato assunto pari a 1,2, considerato rappresentativo degli spettri di traffico corrispondenti al tipo di strada in esame (categoria C, extraurbana secondaria). Il medesimo valore è stato indicato per il lotto 2, mentre per il lotto 1 si è fatto riferimento ad un valore pari a 1,3.

2.3 Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto

Come da prassi, le Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto riportano prescrizioni relative ai materiali da impiegare per la costruzione della pavimentazione stradale e del suo sottofondo, nonché requisiti da soddisfare a seguito del completamento delle operazioni di posa in opera. Tali prescrizioni e requisiti sono molto importanti nell'ambito delle attività di controllo e collaudo della pavimentazione stradale. Essi debbono inoltre essere tenuti in conto nell'ambito delle procedure di verifica del dimensionamento della pavimentazione, soprattutto nei casi in cui non siano disponibili dati sperimentali relativi ai materiali che si intende effettivamente impiegare. In tale contesto è importante sottolineare come vi debba essere sempre una totale coerenza tra le prescrizioni delle Norme Tecniche e le ipotesi assunte alla base dei calcoli di dimensionamento.

Nel seguito vengono riassunti gli elementi contenuti all'interno delle Norme Tecniche, e più precisamente degli articoli 3 ("Movimenti di terra") e 15 ("Pavimentazioni"), che si sono ritenuti rilevanti ai fini delle verifiche del dimensionamento della pavimentazione in quanto riferibili alle caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche dei vari strati. Si è in ogni caso rilevato che si tratta di un documento di tipo assolutamente standard, avente contenuti del tutto in linea con le Norme Tecniche adottate per la maggior parte delle infrastrutture stradali italiane.

Per quel che riguarda il **sottofondo**, le Norme Tecniche prevedono limiti di accettazione riferiti ai risultati di prove effettuate, sia nelle

sezioni in rilevato sia in quelle in trincea, sul piano di posa della fondazione della pavimentazione (articolo 3).

Al termine della rullatura, eseguita con mezzi consoni alla natura dei terreni, viene richiesto che in corrispondenza del piano di posa della fondazione della pavimentazione la densità in sito sia almeno pari al 95% della massima densità di riferimento determinata mediante procedura AASHO Modificata (eseguita come da CNR 69 – 1978). Viene inoltre posto un limite inferiore di accettazione al valore del modulo di deformazione M_d derivante da prove di carico su piastra (eseguite come da CNR 146 - 1992), posto pari a 50 MPa. Coerentemente con quanto normalmente fatto nella pratica corrente, viene specificato che tale modulo venga determinato al primo ciclo di carico, nell'intervallo di pressione verticale compreso tra 0,15 e 0,25 N/mm², impiegando una piastra avente diametro pari a 30 cm.

Occorre specificare che per la realizzazione dei rilevati viene prescritto l'impiego di materiali preferibilmente appartenenti ai gruppi A₁, A₂₋₄, A₂₋₅, A₃ fatta eccezione per l'ultimo strato di 30 cm ove è previsto che vengano impiegati materiali appartenenti esclusivamente ai gruppi A_{1-a} e A₃ e ove non sono ammesse rocce frantumate con pezzature grossolane. È contemplata la possibilità di impiegare le terre provenienti da scavi di sbancamento e di fondazione appartenenti ai gruppi A₄, A₅, A₆, A₇ qualora vengano opportunamente corrette (con calce e/o cemento). Nei casi in cui i rilevati vengano realizzati con la cosiddetta tecnica della terra rinforzata, è previsto l'impiego dei soli materiali appartenenti ai gruppi A₁ e A₃.

Per la costituzione degli **strati di fondazione in misto granulare stabilizzato a cemento in situ**, all'interno delle Norme Tecniche non è previsto alcun articolo specifico. Tuttavia, nell'ambito del precedente studio di TEMA è stato messo a punto un apposito articolo con il quale integrare le stesse Norme Tecniche. Esso è stato redatto mantenendo una certa analogia con quello relativo agli strati di fondazione in misto cementato prodotto in centrale (articolo 15, paragrafo 1.1.2) e tenendo conto degli esiti delle numerose prove laboratorio e di campo eseguite nel corso dello studio.

All'interno degli strati è previsto l'impiego di materiale granulare costituito da ghiaie e sabbie di cava e/o di fiume con percentuale di frantumato complessiva non inferiore al 60% in peso sulla massa totale. È inoltre ammesso l'impiego di fresato bituminoso

proveniente dalla scarifica e demolizione di pavimentazioni preesistenti. Per il dosaggio del fresato è fissato un limite massimo (espresso come percentuale in massa rispetto all'insieme di materiale granulare e fresato) pari al 40%. La percentuale di cemento deve essere indicativamente compresa tra il 2,0 ed il 4,0% rispetto alla massa complessiva asciutta della miscela di aggregati (costituita da materiale granulare e fresato bituminoso).

Ai fini dell'accettazione della miscela ottima, viene richiesto di verificare che la resistenza a compressione di campioni Proctor preparati all'umidità ottima, ed entro un intervallo di variazione assoluta del contenuto d'acqua pari a $\pm 1\%$, sia compresa, dopo 7 giorni di maturazione, tra 2,5 e 4,5 MPa (facendo riferimento alla UNI-EN 13286-41). Sulla miscela ottima devono inoltre essere eseguite anche prove per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (come da UNI EN 13286-42) e del modulo resiliente in cella triassiale (come da norma AASHTO).

Ai fini dell'accettazione delle lavorazioni eseguite in opera, la densità in sito, a compattazione ultimata, dovrà risultare non inferiore al 98% della massima densità secca dichiarata nello studio di mix design. Sulla superficie dello strato di fondazione in misto granulare stabilizzato a cemento in situ cementato è inoltre prevista l'esecuzione di prove di carico su piastra. Il corrispondente valore del modulo di deformazione M_d al primo ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0.15 e 0.25 MPa (determinato come da norma CNR 146 – 1992), rilevato in un tempo compreso fra 24 e 30 ore dalla compattazione, deve risultare non inferiore a 150 MPa.

Si segnala infine che nell'articolo messo a punto per i misti granulari stabilizzati a cemento in situ si è prescritto, immediatamente dopo la conclusione delle operazioni di compattazione dello strato, lo spandimento di emulsione bituminosa acida al 55% (in ragione di 1,0-2,0 kg/m²) con successivo spargimento di sabbia o graniglia fine.

Per le **miscele bituminose** utilizzate per la realizzazione degli strati di sommità della pavimentazione, nelle Norme Tecniche sono previste le prescrizioni di seguito indicate.

Per la costituzione degli strati di base (articolo 15, paragrafo 1.2) è previsto l'impiego di aggregati interamente passanti al crivello da 40 mm (serie UNI) e con curva granulometrica di tipo continuo. Il legante deve essere di tipo "A", ossia di classe di penetrazione

65-85, e la sua percentuale (espressa rispetto alla massa degli aggregati) deve essere compresa tra il 4,0% ed il 5,0%.

La densità raggiunta in opera a seguito del costipamento in ogni giornata di lavorazione deve risultare non inferiore al 97% di quella dei corrispondenti campioni Marshall per i quali viene fissato un intervallo di accettazione della percentuale dei vuoti compreso tra il 4,0% ed il 7,0%. Tali prescrizioni equivalgono a richiedere che la percentuale dei vuoti della miscela posta in opera sia compresa tra il 6,9% ed il 9,8%.

Per la costituzione degli strati di collegamento e usura (articolo 15, paragrafo 1.3) sono indicate prescrizioni tecniche del tutto analoghe a quelle dello strato di base. La curva granulometria degli aggregati (interamente passanti ai crivelli da 25 mm e 20 mm, rispettivamente per lo strato di collegamento e di usura) è in entrambi i casi di tipo continua. Il legante da impiegarsi è ancora una volta un bitume tal quale di classe 65-85, con percentuali comprese negli intervalli 4,5-5,5% (collegamento) e 4,5-6,0% (usura).

Per lo strato di usura percentuale dei vuoti raggiunta in opera a seguito del costipamento deve risultare compresa nell'intervallo 4,0-8,0% e successivamente, dopo un anno di apertura al traffico, tra il 3,0% ed il 6,0%.

Si segnala infine che nelle Norme Tecniche viene prescritta la realizzazione di mani d'attacco tra gli strati in conglomerato bituminoso mediante lo spandimento di emulsione bituminosa (con dosaggio compreso tra 0,6 e 2,0 kg/m²) e la successiva protezione con sabbia o graniglia prebitumata.

2.4 Studio di Impatto Ambientale – Quadro di Riferimento Progettuale

Dalla relazione relativa allo studio di impatto ambientale si sono potute trarre una serie di informazioni di dettaglio riguardanti l'analisi trasportistica eseguita nel 2002. Nello specifico, si è verificata l'origine dei dati riportati dai Progettisti nelle su citate Relazioni Tecniche Generali e si sono individuate possibili ulteriori strategie di elaborazione dei dati. I dati più significativi, ottenuti mediante opportuna modellazione degli esiti di rilievi di traffico, sono stati riferiti agli anni 2008, 2018 e 2028, con una specifica valutazione, per ciascun tratto della Pedemontana di futura costruzione, del Traffico Giornaliero Medio (TGM) di veicoli "leggeri" e "pesanti" (rispettivamente indicati come TGM_{leg} e TGM_{pes}). Tali

dati, valutati con esclusivo riferimento ai tratti dell'infrastruttura principale (escludendo quindi la viabilità secondaria e gli svincoli) sono riportati in **Tabella 2**.

Tabella 2. Dati di traffico giornaliero medio (TGM) relativi ai vari tratti dell'asse principale della Pedemontana

Tratta	Anno 2008		Anno 2018		Anno 2028	
	TGM _{leg}	TGM _{pes}	TGM _{leg}	TGM _{pes}	TGM _{leg}	TGM _{pes}
Argignano – Cerreto D'Esì	10.300	3.012	12.605	3.857	14.583	4.644
Cerreto D'Esì – Matelica zona ind.	13.302	2.911	16.211	3.728	18.723	4.489
Matelica Nord – Esanatoglia	13.302	2.283	16.211	2.923	18.723	3.528
Esanatoglia – Matelica Sud	9.490	2.222	11.660	2.844	13.590	3.433
Matelica Sud – Castelraimondo Nord	12.426	2.944	15.172	3.768	17.567	4.537
Castelraimondo Nord – Castelraimondo Sud	6.868	1.309	8.396	1.674	9.808	2.034
Castelraimondo Sud – Camerino Nord	9.380	1.398	11.418	1.788	13.282	2.170
Camerino Nord – Camerino Sud	8.882	1.398	10.824	1.788	12.611	2.170

3. Descrizione della metodologia di calcolo

La metodologia di calcolo adottata per il dimensionamento e la verifica della pavimentazione è di tipo razionale, basata sulla schematizzazione di quest'ultima come multi-strato elastico, sull'adozione di un metodo di omogeneizzazione dei carichi di traffico e sul calcolo del danno cumulato.

La pavimentazione viene schematizzata come un multi-strato elastico, con un numero di strati variabile a seconda della tipologia esaminata, che risulta definito una volta che siano fissati, per ciascuno strato componente, lo spessore h_i , il modulo elastico E_i ed il rapporto di Poisson ν_i . All'interno del multi-strato vengono inoltre definite le condizioni di adesione che si verificano alle interfacce che separano i vari strati: queste possono corrispondere, a seconda dei casi, a condizioni di totale adesione, di totale slittamento o a condizioni intermedie comprese tra questi estremi.

Questo tipo di schematizzazione, supportato dall'impiego di un idoneo codice di calcolo, consente di pervenire alla valutazione dello stato tenso-deformativo indotto in un qualsiasi punto del multi-strato per effetto di un carico, applicato sulla superficie, che sia simulativo di quello indotto da un veicolo in transito.

Poiché la pavimentazione in esercizio viene sottoposta alle sollecitazioni indotte da una molteplicità di assi differenti, si procede alla omogeneizzazione degli stessi calcolando, per ciascuna tipologia di asse presente nello spettro di traffico previsto per l'infrastruttura, un numero equivalente di applicazioni di un unico asse di riferimento. A tale scopo si possono utilizzare i risultati della AASHO Road Test e delle sue successive elaborazioni, nell'ambito del quale il concetto stesso di omogeneizzazione dei carichi venne per la prima volta proposto. In funzione del traffico cumulato nel corso della vita utile della sovrastruttura e del relativo spettro di traffico, derivanti da appositi studi specialistici, si procede quindi alla valutazione del numero complessivo di applicazioni di assi standard che hanno un effetto equivalente a quello dei carichi effettivamente previsti.

Per la valutazione della durata della vita utile della pavimentazione si fa riferimento a criteri limite che definiscono il raggiungimento delle condizioni ultime in termini di vari dissesti caratteristici della pavimentazione. Tali criteri, che debbono necessariamente tenere conto delle specifiche caratteristiche dei materiali impiegati, sono espressi come funzioni che legano il numero di applicazioni ammissibili del carico con l'entità della deformazione indotta, valutata in punti caratteristici della sovrastruttura, come di seguito indicato:

$$N_f = f_1 \cdot \varepsilon_t^{-f_2} \cdot E_{cgl}^{-f_3} \quad \text{nel caso della fessurazione per fatica} \quad \text{(eq. 1a)}$$

$$N_d = f_4 \cdot \varepsilon_c^{-f_5} \quad \text{nel caso dell'ormaiamento} \quad \text{(eq. 1b)}$$

ove: N_f è il numero di applicazioni ammissibili, fino al raggiungimento delle condizioni limite in termini di fessurazione a fatica, del carico che induce nella sovrastruttura una deformazione di trazione ε_t alla base dello strato in conglomerato bituminoso avente modulo elastico E_{cgl} ;

f_1 , f_2 ed f_3 sono coefficienti caratteristici del criterio limite che possono tenere conto della natura dei materiali;

N_d è il numero di applicazioni ammissibili, fino al raggiungimento delle condizioni limite in termini di ormaiamento, del carico che induce nella sovrastruttura una deformazione di compressione ε_c sulla superficie dello strato per il quale si vuole controllare l'accumulo di deformazioni permanenti;

f_4 ed f_5 sono coefficienti caratteristici del criterio limite che possono tenere conto della natura dei materiali.

Nella metodologia di calcolo si tiene conto del fatto che lo stato tenso-deformativo indotto nella pavimentazione dipende, in ragione delle peculiari caratteristiche viso-elastiche degli strati di sommità legati a bitume, dalla temperatura, variabile nel corso dell'anno, e dalla velocità dei veicoli in transito, anch'essa variabile a seconda della geometria dell'infrastruttura e delle caratteristiche dei veicoli. A seconda delle condizioni prese in esame, agli strati in conglomerato bituminoso vengono pertanto assegnati valori del modulo elastico che coincidono con i valori della norma del modulo complesso, detta anche "modulo dinamico", corrispondenti a temperature e frequenze di sollecitazione considerate rappresentative delle condizioni che si verificano in sito. Lo stesso dicasi per il rapporto di Poisson, che a rigore, per materiali visco-elastici quali i conglomerati bituminosi, può essere considerato come numero complesso.

Non volendo progettare sovrastrutture con stratigrafia variabile in funzione dell'andamento plano-altimetrico dell'infrastruttura, per tenere conto della dipendenza dalla frequenza di sollecitazione nella metodologia di calcolo si opera una prima semplificazione ingegneristica, in favore di sicurezza, facendo riferimento ad una unica frequenza caratteristica. Quest'ultima, pur corrispondendo in linea teorica con una ben definita velocità di transito, viene scelta in modo da prendere in esame condizioni alquanto gravose per i materiali componenti la sovrastruttura.

Per ciò che concerne la dipendenza dalla temperatura, il generico anno di vita utile viene suddiviso in periodi, generalmente fatti coincidere con i 12 mesi dell'anno, in corrispondenza dei quali si possono definire, mediante idonei modelli, le temperature caratteristiche di ciascuno strato. Per ciascuno di tali periodi si considera quindi la risposta tenso-deformativa del multi-strato sottoposto all'azione dell'asse standard e composto da materiali aventi i moduli elastici coincidenti con i moduli dinamici calcolati alle temperature caratteristiche proprie di quel periodo.

Facendo uso dei criteri limite indicati in precedenza, per ciascun periodo dell'anno si può quindi valutare, per ciascun dissesto preso in esame, il danno indotto dall'applicazione degli assi standard mediante le espressioni:

$$D_{f,j} = \frac{N_j}{N_{f,j}} \quad \text{nel caso della fessurazione per fatica} \quad \text{(eq. 2a)}$$

$$D_{d,j} = \frac{N_j}{N_{d,j}} \quad \text{nel caso dell'ormaiamento} \quad \text{(eq. 2b)}$$

ove: $D_{f,j}$ e $D_{d,j}$ sono i danni, rispettivamente espressi in termini di fessurazione per fatica e di ormaiamento, relativi al j-esimo periodo;

N_j è il numero di applicazioni del carico di riferimento nel j-esimo periodo;

$N_{f,j}$ e $N_{d,j}$ sono i numeri di applicazione ammissibili del carico di riferimento, rispettivamente espressi in termini di fessurazione per fatica e di ormaiamento, valutati con i criteri limite nel j-esimo periodo.

Per la verifica del comportamento strutturale complessivo della pavimentazione si può dunque valutare il danno cumulato, sommando i danni indotti nei singoli periodi componenti mediante le espressioni:

$$D_f = \sum_j D_{f,j} \quad \text{nel caso della fessurazione per fatica} \quad \text{(eq. 3a)}$$

$$D_d = \sum_j D_{d,j} \quad \text{nel caso dell'ormaiamento} \quad \text{(eq. 3b)}$$

ove: D_f è il danno cumulato riferito al caso della fessurazione per fatica;

D_d è il danno cumulato riferito al caso dell'ormaiamento.

Qualora il danno cumulato sia inferiore all'unità, la pavimentazione si considera verificata nei riguardi del dissesto preso in esame. Qualora il valore del danno cumulato sia superiore all'unità tale verifica non è soddisfatta, ed occorre procedere ad un nuovo dimensionamento della sovrastruttura. Per una qualunque soluzione progettuale si può inoltre risalire, tramite il valore del danno cumulato, ad una stima della vita utile della pavimentazione.

4. Valutazione del traffico di progetto

In accordo con l'approccio normalmente seguito in letteratura, per la valutazione del traffico di progetto da adottare per le verifiche strutturali della pavimentazione dell'infrastruttura principale dei lotti 3° e 4° si sono considerati i soli veicoli pesanti. Il loro numero complessivo di passaggi complessivo nell'arco della vita utile di progetto (20 anni) è stato calcolato con la seguente espressione adottata dalla AASHTO e dall'Asphalt Institute **[1,2]**, del tutto coerente con quella impiegata dai Progettisti nell'ambito del Progetto Esecutivo:

$$N_{vp} = TGM \cdot 365 \cdot \left(\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right) \cdot v_p \cdot F_r \quad (\text{eq. 4})$$

ove: N_{vp} è il numero di passaggi di veicoli commerciali pesanti sulla corsia di progetto nell'arco della vita utile;

TGM è il traffico giornaliero medio riferito all'intera sezione dell'infrastruttura (considerando i veicoli nei due sensi di marcia);

r è il fattore percentuale di crescita annua del traffico (espresso in termini decimali);

n è il numero di anni di progetto (assunto pari a 20);

v_p è la percentuale di veicoli commerciali pesanti (espresso in termini decimali);

F_r è il fattore di ripartizione del traffico per la corsia di progetto (che tiene conto sia della ripartizione direzionale, sia della ripartizione trasversale).

Per la valutazione dei parametri contenuti nell'**eq. 4** si è fatto riferimento al già citato documento del 2002 tenendo altresì conto sia di quanto riportato nel Progetto Esecutivo, sia delle osservazioni contenute nell'istruttoria ANAS (prot. CDG-377480-P) del 24/07/20. Si è peraltro tenuto conto del fatto che la suddivisione dell'infrastruttura in lotti funzionali (o stralci) risulta essere esclusivamente amministrativa e non riconducibile ad alcuna necessità di differenziare la pavimentazione stradale da realizzarsi in ciascun lotto. Di conseguenza, si è fatto riferimento alle condizioni di traffico che sono state previste per la tratta della Pedemontana sottoposta alle condizioni più gravose.

Per quel che riguarda il prodotto ($TGM \cdot v_p$), in precedenza definito come TGM_{pes} , si è preso atto della richiesta formulata da ANAS, che ha richiesto che lo studio di traffico datato 2008

venga sottoposto ad una attualizzazione dei valori riferibili all'anno previsto per l'apertura in esercizio. Per soddisfare tale richiesta, in mancanza di rilievi più aggiornati eseguiti sulla rete di infrastrutture limitrofe alla nuova Pedemontana, si è adottato un approccio semplificato ma del tutto conservativo.

I valori del TGM_{pes} valutati per l'anno 2008 (v. **Tabella 2**) sono stati quindi aggiornati, per ciascun lotto della Pedemontana, agli anni previsti per l'apertura al traffico facendo riferimento ai dati relativi al parco veicolare italiano contenuti nell'archivio statistico dell'ACI **[3]**. In particolare, si sono considerati i dati relativi al periodo 2008-2018, dai quali si è potuto rilevare che il valore medio del tasso di crescita annuale è pari allo 0,54% per gli autocarri adibiti al trasporto merci, e all'1,74% per autocarri speciali. Conservativamente, nei successivi calcoli si è fatto quindi riferimento a tale secondo valore.

Il tasso di crescita sopra indicato è stato impiegato per l'attualizzazione del TGM_{pes} valutato per l'anno 2008, ipotizzando cioè che l'incremento di traffico sulla esistente rete sia stato analogo a quello del parco veicolare italiano. Il massimo valore di TGM_{pes} , pari a 3.772 veicoli/giorno, è stato ottenuto per il lotto 1 (per l'anno 2021). Per i lotti 3° e 4° si è invece ottenuto un valore inferiore, pari a 1.812 veicoli/giorno (per l'anno 2023). Per effetto di quanto sopra precisato, nei successivi calcoli si è quindi fatto riferimento al valore calcolato per il 1° lotto.

Per la valutazione del tasso di crescita del TGM_{pes} nel corso dell'esercizio dell'infrastruttura si è tenuto conto di una ulteriore osservazione formulata dall'ANAS. Nel corso della già citata istruttoria ANAS ha infatti richiesto che il valore assunto nel Progetto Esecutivo (pari all'1,8%) venga incrementato, adottando valori più coerenti con quelli di solito adottati ed in particolare con quelli indicati per i lotti 1° e 2° della stessa infrastruttura (pari al 2.5%).

Dai dati riportati nel già citato studio trasportistico (v. **Tabella 2**) si sono valutati i tassi di crescita medi annui relativi a ciascuna delle tratte che compongono l'infrastruttura. Essi sono riportati in **Tabella 3**, ove sono distintamente riferiti a due periodi: i primi dieci anni di esercizio (originariamente indicati come 2008-2018) e i successivi dieci anni (originariamente indicati come 2018-2028).

Tabella 3. Tassi di crescita media annua del traffico giornaliero medio (TGM) per i vari tratti dell'asse principale della Pedemontana

Tratta	Primi 10 anni		Successivi 10 anni	
	r_{leg}	r_{pes}	r_{leg}	r_{pes}
Argignano – Cerreto D'Esì	2,04	2,50	1,47	1,87
Cerreto D'Esì – Matelica zona ind.	2,00	2,50	1,45	1,87
Matelica Nord – Esanatoglia	2,00	2,50	1,45	1,90
Esanatoglia – Matelica Sud	2,08	2,50	1,54	1,90
Matelica Sud – Castelraimondo Nord	2,02	2,50	1,48	1,87
Castelraimondo Nord – Castelraimondo Sud	2,03	2,49	1,57	1,97
Castelraimondo Sud – Camerino Nord	1,86	2,49	1,38	1,96
Camerino Nord – Camerino Sud	2,00	2,49	1,54	1,96

Per ciascun periodo si è quindi preso in considerazione il valore massimo calcolato per l'intera infrastruttura. Esso è risultato pari al 2,50% per i primi 10 anni e all'1,97% per i successivi 10 anni. Tali valori sono stati quindi utilizzati nel calcolo del traffico di progetto, ipotizzando in pratica che la capacità attrattiva della nuova infrastruttura sia del tutto analoga a quella derivante dallo studio di mobilità del 2002.

Per quel che riguarda il fattore di ripartizione del traffico per la corsia di progetto (F_r), si è preso atto della richiesta di ANAS, formulata nell'ambito della più volte citata istruttoria, di non considerare un valore pari a 0,5 per la ripartizione direzionale, ritenuto non a favore di sicurezza. Di conseguenza, nei successivi calcoli di verifica si è assunto nei calcoli un valore di F_r pari a 0,60.

Per effetto delle assunzioni sopra illustrate, i relativi calcoli sviluppati impiegando l'**eq. 4** per la tratta della Pedemontana sottoposta alle più gravose condizioni di traffico hanno condotto ad un valore del numero di passaggi di veicoli commerciali pesanti sulla corsia di progetto nell'arco della vita utile (N_{vp}) pari a 20.815.286. Si noti che a rigore tale previsione vale per la tratta Argignano – Cerreto D'Esì (appartenente al 1° lotto), mentre il corrispondente valore per la tratta sottoposta al maggior traffico nei lotti 3° e 4° (tratta Camerino Nord – Camerino Sud) risulta pari a 10.001.399. Ciononostante, le successive verifiche di dimensionamento sono state eseguite con riferimento al massimo valore calcolato per l'intera infrastruttura alla luce della necessità di considerarla come unica e dunque caratterizzata da una stratigrafia di pavimentazione uniforme.

Quale asse di riferimento per l'omogeneizzazione dei carichi si è considerato l'asse standard (singolo) da 80 kN: il calcolo del relativo coefficiente di equivalenza (C_{eq}) da associare a ciascun veicolo pesante si è quindi desunto, come già fatto nell'ambito del Progetto Esecutivo, dagli spettri di traffico pesante tipicamente rilevati sulle infrastrutture secondarie in Italia, indicate nel *Catalogo delle Pavimentazioni Stradali* del CNR [4], e dai singoli coefficienti di equivalenza degli assi indicati dalla AASHTO [1]. A fronte di un valore di C_{eq} assunto pari a 1,2 per i lotti 3° e 4° (e a 1,3 per il lotto 1), si è prudenzialmente fatto riferimento ad un valore pari a 1.4. Ciò anche al fine di dare riscontro all'istruttoria ANAS, nell'ambito della quale si è chiesto di aumentare il margine di sicurezza adottato nella progettazione.

Sulla base di queste ipotesi, il traffico di progetto dell'intera infrastruttura principale (riferito indistintamente a tutti i lotti), espresso in termini di assi standard da 80 kN, è risultato pari a 29,141,401 passaggi.

5. Valutazione delle temperature di progetto

Le temperature di progetto da considerare nel calcolo della pavimentazione sono state desunte dalla serie storica dei dati raccolti da stazioni meteorologiche ubicate lungo lo sviluppo dell'infrastruttura [5]. In particolare, si è fatto riferimento alle stazioni meteorologiche di Fabriano, Matelica e Castelraimondo, distribuite lungo lo sviluppo dell'intera infrastruttura.

Come evidenziato in **Tabella 4**, per ciascuna serie storica di dati si sono presi in esame i valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria. Essendo tali valori caratterizzati da una modesta variabilità, non si è ritenuto opportuno frazionare l'infrastruttura in più tratte, ma si è invece deciso di associare all'infrastruttura stessa un unico regime termico. Quest'ultimo è stato definito, per ciascun mese dell'anno, dalla media delle temperature medie mensili derivanti dall'insieme delle serie storiche. I risultati così ottenuti sono sintetizzati nell'ultima colonna di **Tabella 4**.

Tabella 4. Valori medi della temperatura media mensile dell'aria

Mese	Temperatura media [°C]			Regime termico medio
	Fabriano	Matelica	Castelraimondo	
Gennaio	4.4	4.3	4.6	4.4
Febbraio	5.6	5.5	5.9	5.7
Marzo	8.1	8.0	8.2	8.1
Aprile	11.6	11.7	11.9	11.7
Maggio	16.1	16.3	16.4	16.3
Giugno	20.0	20.2	20.3	20.2
Luglio	22.7	22.8	23.0	22.8
Agosto	22.5	22.5	22.8	22.6
Settembre	19.0	19.2	19.5	19.2
Ottobre	14.3	14.2	14.5	14.3
Novembre	9.6	9.6	10.0	9.7
Dicembre	5.9	5.8	6.0	5.9

6. Definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali di progetto

Al fini della verifica strutturale della pavimentazione le caratteristiche meccaniche di resistenza dei materiali da impiegarsi per la costituzione dei vari strati, oltre che del terreno costituente il sottofondo, sono state desunte da varie fonti. Laddove possibile, si sono privilegiati i risultati sperimentali derivanti da indagini effettuate durante la costruzione dell'infrastruttura (come nel caso del terreno di sottofondo), oppure nell'ambito di specifici studi (come nel caso del misto granulare stabilizzato a cemento in situ). In altri casi si è dovuto necessariamente fare riferimento ai contenuti delle Norme Tecniche, utilizzando quindi vari modelli previsionali, tratti dalla letteratura tecnico-scientifica del settore, che alle grandezze per le quali sono previste limiti o intervalli di accettazione fanno corrispondere le grandezze richieste nell'ambito della metodologia di calcolo adottata. Infine, in alcuni casi, in mancanza di dati sperimentali e di modelli predittivi, si è fatto riferimento a valori delle grandezze richieste che risultano tipici delle tipologie di materiale prese in considerazione.

6.1 Terreno di sottofondo

Ai fini della stima del modulo elastico del terreno di sottofondo si è utilizzata la seguente relazione normalmente considerata nella pratica progettuale, del tutto coerente con le assunzioni fatte per modulo resiliente (M_r) nell'ambito dei calcoli di dimensionamento della pavimentazione riportati nelle Relazioni Tecniche Generali del Progetto Esecutivo [6]:

$$E_d = 2.0 \cdot M_d$$

(eq. 5)

ove: E_d è il cosiddetto “modulo dinamico” del sottofondo, corrispondente al modulo elastico del semispazio sottoposto a sollecitazioni di tipo dinamico;

M_d è il modulo di deformazione del sottofondo desunto da prove di carico su piastra.

Nelle Norme Tecniche è previsto che il modulo di deformazione sia non inferiore a 50 MPa e in effetti durante la realizzazione dell'infrastruttura si è rilevato che è stato possibile soddisfare questa condizione con continuità. Di conseguenza, nei calcoli strutturali si è potuto ipotizzare un modulo dinamico pari a 100 MPa.

Per la stima del rapporto di Poisson, per la quale non sono disponibili affidabili modelli analitici, alla luce di quanto riportato in letteratura si è assunto un valore pari a 0,45. A tal proposito occorre comunque precisare che tale grandezza ha una modesta incidenza sui risultati della simulazione strutturale e che quindi l'assenza di dati sperimentali o modelli non ha conseguenze sull'affidabilità delle verifiche strutturali.

6.2 Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato a cemento in situ

Le valutazioni relative al modulo elastico da assegnare allo strato di fondazione in misto granulare stabilizzato a cemento in situ sono state effettuate facendo riferimento agli esiti del precedente studio di TEMA. In particolare, si sono presi in considerazione i risultati delle prove di modulo resiliente eseguite in cella triassiale su campioni di miscele stabilizzate a cemento aventi una composizione ottimizzata stabilita sulla base di apposito studio di mix design ed una densità corrispondente al 98% di quella di riferimento. Le miscele prese in considerazione sono state di tre tipi: una miscela costituita esclusivamente da aggregati di cava, le restanti due comprendenti anche una frazione di fresato bituminoso in sostituzione di una quota parte degli aggregati di cava (con dosaggi parri a 25% e 40% sulla massa totale dello scheletro litico, dato dalla somma di aggregati e fresato).

I risultati delle prove triassiali, eseguite in conformità con la procedura indicata nella relativa norma AASHTO, sono stati successivamente sottoposti a modellazione facendo riferimento alla seguente espressione analitica proposta da Hicks e Monismith:

$$M_r = k_1 \cdot p_a \cdot (\theta/p_a)^{k_2} \quad \text{(eq. 6)}$$

ove: p_a è la pressione atmosferica;
 θ è il primo invariante delle sollecitazioni;
 k_1 e k_2 sono parametri di modellazione, dipendenti dalle caratteristiche del materiale.

Dopo aver eseguito la modellazione, il modulo resiliente delle tre miscele, rivelatosi sostanzialmente equivalente, è stato ricalcolato in corrispondenza di due diversi livelli di sollecitazione globale, ossia per due diversi valori del primo invariante degli sforzi. Il livello di sollecitazione più elevato (corrispondente ad un valore di θ pari a 0,650 MPa) è stato considerato rappresentativo della porzione di fondazione più vicina alla superficie della pavimentazione, mentre il livello di sollecitazione minore (θ pari a 0,300 MPa) è stato associato alla porzione inferiore dello strato di fondazione.

Poiché i dati sperimentali si riferiscono a prove eseguite dopo un tempo di maturazione di soli 7 giorni, nelle verifiche strutturali si è tenuto conto della successiva evoluzione dei fenomeni di idratazione della matrice cementizia che possono comportare un significativo aumento della rigidezza di questa tipologia di miscele. Con riferimento a quanto riportato in letteratura e in un'ottica del tutto conservativa a favore di sicurezza, per la correzione dei valori del modulo si è considerato un coefficiente moltiplicativo pari a 2. Si noti come l'assunzione di un fattore moltiplicativo così contenuto tiene conto anche degli ineliminabili fenomeni di microfessurazione che interessano il materiale durante la sua vita utile.

Per effetto delle procedure di elaborazione sopra illustrate, alle miscele in esame si sono potuti associare valori del modulo resiliente, successivamente trattato formalmente nelle verifiche come modulo elastico, pari a 800 MPa (per il più elevato livello di sollecitazione) e 500 MPa (per il livello di sollecitazione più basso).

Il rapporto di Poisson delle miscele in misto granulare stabilizzato a cemento in situ è stato assunto, in mancanza di informazioni specifiche e/o sperimentazioni di supporto, pari a 0,25. Come detto in precedenza per il terreno di sottofondo, è importante evidenziare come le assunzioni relative al rapporto di Poisson non hanno una influenza significativa sui risultati della modellazione razionale.

6.3 Strati in conglomerato bituminoso

Le caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi sono state valutate facendo riferimento ai modelli messi a punto da Francken e collaboratori nell'ambito degli studi effettuati presso il *Centre de Recherche Routiere (CRR)* [7,8]. In particolare, si sono prese in considerazione le seguenti relazioni che forniscono il modulo dinamico del conglomerato bituminoso, ossia la norma del modulo complesso, in funzione di grandezze che ne definiscono la volumetria e che descrivono il comportamento reologico del legante in esso impiegato:

$$E^* = E_{\infty} \cdot R^* \quad (\text{eq. 7a})$$

$$E_{\infty} = C \cdot \left(\frac{V_a}{V_l} \right)^{0.55} \cdot e^{-5.84 \cdot 10^{-2} \cdot \%v} \quad (\text{eq. 7b})$$

$$\log(R^*) = \log(B^*) - 1.35 \cdot \left(1 - e^{-0.13 \cdot \frac{V_a}{V_l}} \right) \cdot \log(B^*) \cdot [1 + 0.11 \cdot \log(B^*)] \quad (\text{eq. 7c})$$

ove: E^* è il cosiddetto modulo dinamico del conglomerato bituminoso, pari alla norma del modulo complesso derivante da prove di laboratorio eseguite in regime oscillatorio;
 E_{∞} è il modulo vetroso del conglomerato bituminoso;
 R^* è il modulo ridotto del conglomerato bituminoso;
 C è una costante, pari a $1.436 \cdot 10^{-4}$;
 V_a è il volume percentuale occupato dagli aggregati;
 V_l è il volume percentuale occupato dal legante;
 $\%v$ è la percentuale dei vuoti del conglomerato bituminoso;
 B^* è il modulo complesso ridotto del legante, dato dal rapporto tra il modulo complesso ed il modulo vetroso.

Per ciascuno dei tre strati previsti nella pavimentazione di progetto (usura, collegamento e base) la valutazione del modulo elastico da utilizzare nei calcoli di verifica strutturale è stata fondata sull'impiego delle su indicate relazioni del *CRR*, considerando che le miscele possano raggiungere in opera una volumetria del tutto coerente con le prescrizioni delle Norme Tecniche.

Per quel che riguarda i leganti, si è fatto riferimento alle prescrizioni delle Norme Tecniche che prevedono l'impiego di bitume tal quale (non modificato) di tipo "A", appartenente alla classe di penetrazione 65-85. Le corrispondenti grandezze reologiche da introdurre nelle relazioni del *CRR* sono state dedotte dai risultati ottenuti mediante l'impiego del software *BANDS* [9], i cui calcoli sono basati sul ben noto nomogramma di van der Poel. Si sono così

ipotizzate caratteristiche di penetrazione e palla anello coerenti con le prescrizioni delle Norme Tecniche, riferite a condizioni di invecchiamento a breve termine così come derivanti dal trattamento simulativo con Rolling Thin Film Oven (RTFO).

Per quel che riguarda la frequenza di sollecitazione, si è assunto, come da consuetudine progettuale, un unico valore di riferimento pari a 10 Hz.

I valori del modulo complesso normale E^* calcolati alla frequenza di 10 Hz in funzione della temperatura sono stati espressi in termini di modulo normale ridotto B^* , da inserire nelle relazioni del CRR, mediante l'espressione:

$$B^* = \frac{E^*}{E_g} \quad \text{(eq. 8)}$$

ove: B^* è il modulo normale ridotto del legante, funzione della temperatura e della frequenza di sollecitazione;
 E_g è il modulo normale vetroso del legante, assunto pari a 3 GPa.

Poiché le relazioni del CRR consentono di tenere conto della dipendenza dalla temperatura del comportamento meccanico dei conglomerati bituminosi, si sono utilizzate, per ciascuno strato e per ciascun mese dell'anno le temperature caratteristiche desunte dalla seguente espressione proposta da Witczak [10]:

$$T_i = (1.467 + 0.043 \cdot z_i) + (1.362 - 0.005 \cdot z_i) \cdot T_{aria} \quad \text{(eq. 9)}$$

ove: T_i è la temperatura caratteristica dell' i -esimo strato in conglomerato bituminoso preso in considerazione;
 z_i è la profondità (in cm), al di sotto della superficie della pavimentazione, del punto ubicato alla profondità, al di sotto della superficie dell' i -esimo strato, pari ad un terzo dello spessore dello strato stesso;
 T_{aria} è la temperatura caratteristica dell'aria nel periodo considerato.

Benché a rigore il rapporto di Poisson dei conglomerati bituminosi sia dipendente dalla temperatura e dalla frequenza di sollecitazione, poiché i valori assunti da quest'ultimo non influenzano in maniera eccessiva il comportamento tenso-deformativo del multistrato in cui sono inclusi, nei calcoli si è

assunto, per tutti gli strati legati a bitume un valore costante, indipendente dalla temperatura, pari a 0.35. Tale valore è quello cui normalmente si fa riferimento sia nella pratica progettuale sia nella sperimentazione di laboratorio.

7. Valutazione della vita utile della pavimentazione

Per la valutazione della vita utile della pavimentazione di progetto, si è utilizzato il codice di calcolo *KENLAYER 2.0* [11,12]. Quest'ultimo consente di valutare lo stato tenso-deformativo in un qualunque punto del sistema multi-strato preso in esame e di valutare per quest'ultimo, una volta che si siano definiti i criteri limite cui fare riferimento nelle verifiche, i danni indotti in termini di fessurazione per fatica e di ormaimento.

Sulla superficie del multistrato si è considerata l'applicazione del carico di un semi-asse standard da 80 kN con ruote gemellate. A tale semi-asse corrispondono due superfici di impronta, aventi raggio pari a 9.54 cm e distanza tra i centri pari a 31.5 cm, sulle quali è applicata una pressione verticale uniforme di 700 kPa.

Lo stato tenso-deformativo indotto nella pavimentazione, così come il relativo danno, è stato valutato in corrispondenza di due verticali: una passante per il centro di una delle due aree di impronta; l'altra passante per il punto intermedio tra le due aree.

In mancanza di specifiche informazioni relative ad eventuali periodi di flusso anomalo, il traffico di progetto, espresso in numero di applicazione dell'asse di riferimento, è stato distribuito omogeneamente nei 12 mesi dell'anno. A ciascun periodo dell'anno è stato inoltre associato un insieme di valori dei moduli elastici degli strati legati a bitume che tengono conto della temperatura caratteristica del periodo. Per quel che riguarda le condizioni di interfaccia, si è ipotizzato il raggiungimento di condizioni di perfetta aderenza tra gli strati.

I criteri di progetto utilizzati nel dimensionamento e nella verifica delle pavimentazioni sono quelli proposti dall'*Asphalt Institute* [2], che corrispondono formalmente ad espressioni del tipo indicato nelle **eq. 1a** e **1b**.

Nel caso della fessurazione per fatica, il criterio limite dell'*Asphalt Institute* corrisponde ad una fessurazione del 20% della superficie della pavimentazione. Nei calcoli si è fatto riferimento alle seguenti

espressioni, che consentono di rendere esplicita la dipendenza del comportamento a fatica dalle caratteristiche volumetriche della miscela:

$$N_f = 0.02248 \cdot C \cdot \varepsilon_t^{-3.291} \cdot |E^*|^{-0.854} \quad \text{(eq. 10a)}$$

$$C = 10^M \quad \text{(eq. 10b)}$$

$$M = 4.84 \cdot \left(\frac{V_l}{\%v + V_l} - 0.69 \right) \quad \text{(eq. 10c)}$$

ove: N_f è il numero di applicazioni ammissibili, fino al raggiungimento delle condizioni limite in termini di fessurazione a fatica, del carico che induce nella sovrastruttura una deformazione di trazione ε_t alla base dello strato in conglomerato bituminoso avente modulo pari a $|E^*|$;

V_l è il volume percentuale occupato dal legante nel conglomerato bituminoso;

$\%v$ è il volume percentuale dei vuoti del conglomerato bituminoso.

Utilizzando le su indicate espressioni si è pervenuti a criteri limite differenti per i vari strati (di usura, collegamento e base). Quale fattore moltiplicativo per la traslazione delle curve di fatica dal laboratorio al campo, si è utilizzato il fattore suggerito dall'*Asphalt Institute*, pari a 18,4. Per la verifica a fatica dell'intero pacchetto legato a bitume, si è considerata una funzione del tipo indicata in **eq. 10a**, nella quale la costante moltiplicativa dei termini dipendenti da ε_t e da E^* è stata ottenuta come media pesata (sulla base dei corrispondenti valori di modulo) delle costanti calcolate per gli strati di usura, collegamento e base.

Nel caso delle verifiche relative all'ormaiamento, il criterio limite dell'*Asphalt Institute*, che corrisponde alla formazione di ormaie aventi una profondità di 1.27 cm, è stato utilizzato nella sua forma originaria. Questa corrisponde all'espressione:

$$N_d = 1.365 \cdot 10^{-9} \cdot \varepsilon_c^{-4.477} \quad \text{(eq. 11)}$$

ove: N_d è il numero di applicazioni ammissibili, fino al raggiungimento delle condizioni limite in termini di ormaiamento, del carico che induce nella sovrastruttura una deformazione di compressione ε_c sulla superficie dello strato per il quale si vuole controllare l'accumulo di deformazioni permanenti.

Facendo riferimento ai criteri limite di progetto appena descritti si è valutato il danno cumulato corrispondente a ciascuno dei dissesti caratteristici.

Nel caso della fessurazione per fatica i calcoli sono stati eseguiti in corrispondenza del fondo dello strato di base. Nel caso dell'ormaiamento il danno cumulato è stato valutato, oltre che in corrispondenza della superficie del sottofondo, anche sulla sommità dello strato di fondazione. Per quest'ultimo, indipendentemente dalla sua natura (misto granulare stabilizzato a cemento in situ) si è conservativamente fatto riferimento al medesimo criterio limite indicato nell'**eq. 11**.

Nei calcoli non si è inclusa alcuna valutazione della profondità di ormaie che tenga conto dei contributi degli strati legati a bitume. Si è infatti considerato che questi possano essere trascurabili qualora vengano messi in opera con le caratteristiche volumetriche e di composizione medie ipotizzate, del tutto conformi alle prescrizioni delle Norme Tecniche.

I risultati dei calcoli sopra descritti sono riportati integralmente nell'**Allegato A**, contenente i valori dei dati di input impiegati per il calcolo della sovrastruttura ed il tabulato di output generato dal software utilizzato per il calcolo. Per quest'ultimo i calcoli sono stati eseguiti per un numero di passaggi annuali pari a 1.200.000, equamente ripartiti nei vari mesi dell'anno (100.000 passaggi/mese). Il conseguente risultato, espresso in termini di danno cumulato (e pari a $4,031E-02$), è stato quindi utilizzato per il calcolo dell'effettivo danno cumulato in ciascun anno di traffico sulla base del TGM_{pes} iniziale e degli ipotizzati tassi di crescita.

Occorre sottolineare che, come atteso, le condizioni ultime che risultano più gravose risultano quelle associate alla fessurazione dello strato di base, mentre non risulta apprezzabile il danno associato all'accumulo di deformazioni permanenti nello strato di fondazione e nel sottofondo.

Il danno cumulato nei 20 anni di progetto è risultato pari a 0.979, e dunque inferiore all'unità così come richiesto per la verifica della pavimentazione. Si è potuto così concludere che la pavimentazione presa in esame ha un comportamento strutturale soddisfacente per l'intera Pedemontana.

8. Conclusioni

Sulla base della modellazione e dei calcoli descritti nei capitoli precedenti, la pavimentazione proposta nell'ambito del Progetto Esecutivo del 3° e 4° lotto della Pedemontana risulta verificata da un punto di vista strutturale.

La metodologia di calcolo impiegata, di tipo razionale, tiene conto delle specifiche proprietà meccaniche dei materiali impiegati, dello spettro di traffico caratteristico dell'infrastruttura presa in esame e delle condizioni climatiche che interessano il territorio in cui essa è collocata.

Occorre sottolineare che le condizioni di traffico prese in esame sono state desunte dall'analisi complessiva dell'intera Pedemontana in quanto si è ritenuto opportuno non distinguere tra le stratigrafie da adottare all'interno dei vari lotti. La verifica eseguita, seppur formalmente presentata con riferimento al 3° e 4° lotto, è dunque da intendersi come valida per tutti i lotti.

I criteri limite utilizzati ai fini della verifica della pavimentazione sono stati desunti dalla letteratura specialistica del settore ed in particolare dagli studi compiuti dall'*Asphalt Institute*. Tali criteri, che possono essere utilizzati all'interno di un approccio basato sulla valutazione del danno cumulato, fanno riferimento a due dissesti caratteristici delle pavimentazioni flessibili: la fessurazione per fatica e l'ormaiamento. Nel caso della fessurazione per fatica si considera che le condizioni ultime siano state raggiunte quando il 20% della superficie della pavimentazione è interessata da fessure ramificate. Per quel che riguarda l'ormaiamento, le condizioni ultime corrispondono invece alla formazione di ormaie aventi una profondità pari a 1.27 cm.

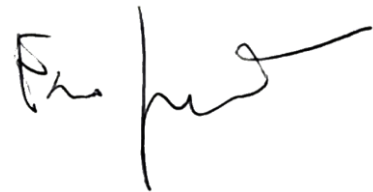
Le condizioni ultime su descritte, associate a dissesti alquanto gravi, di fatto corrispondono ad una situazione in cui è richiesto quanto meno il completo rifacimento degli strati legati della sovrastruttura. È quindi evidente che nel corso dell'esercizio si dovrà valutare l'opportunità di mettere in atto interventi di manutenzione preventiva, finalizzati a prolungare la vita utile della sovrastruttura o a ridurre la gravità dei dissesti.

Ai fini dell'ottimizzazione del comportamento in opera delle sovrastrutture è indispensabile che venga posta particolare cura in tutte le fasi della costruzione. In particolare, poiché nei calcoli si è ipotizzato che si verifichino condizioni di totale adesione tra gli strati,

è indispensabile che vengano realizzati che si ponga particolare cura nel progetto e nella realizzazione delle mani d'attacco e di ancoraggio. È inoltre necessario che tutte le miscele impiegate nella pavimentazione (cementizie e bituminose) vengano realizzate a seguito di un opportuno studio di mix design e che esse vengano messe in opera nello stato di addensamento previsto dalle Norme Tecniche.

Fano (PU), 15/09/2020

prof. Ezio Santagata

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ezio Santagata', with a long horizontal stroke extending to the right.

Riferimenti bibliografici

1. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, AASHTO, 1993.
2. *Thickness Design – Highways and Streets*, Manual Series n. 1, Asphalt Institute, 1999.
3. ACI, www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche.html, *Archivio Statistico*, 2019.
4. *Catalogo delle Pavimentazioni Stradali*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1995.
5. *World Climate*, www.worldclimate.com, Butter and Tuttle Ltd., 2005.
6. Ferrari, P., Giannini, F., *Ingegneria Stradale – Corpo Stradale e Pavimentazioni*, vol. 2, ISEDI, 1979.
7. Francken, L., “Propriétés Mécaniques de Mélanges Hydrocarbonés”, *La Technique Routiere*, vol. XXI, 1976.
8. Francken, L, Vanelstraeten, A., “Complex Moduli of Bituminous Binders and Mixes. Interpretation and Evaluation”, *Eurobitume Proceedings*, 1996.
9. *BANDS 2.0*, Shell International Oil Products, 1998.
10. Witczak, M.W., “Design of Full-Depth Asphalt Airfield Pavements”, *ISAP Proceedings*, 1972.
11. *KENLAYER 2.0*, H.Y. Huang, 1992.
12. Huang, H.Y., *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall, 1993.

Allegato A
Verifica della pavimentazione dell'asse principale
indicata nel Progetto Esecutivo

Caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi

Stratigrafia della pavimentazione

Usura	4.0 cm
Collegamento	4.0 cm
Base	8.0 cm

USURA

Conglomerato	
Contenuto di bitume	5.775 %
MV bitume	1.02 g/cm ³
MV aggregati	2.75 g/cm ³
MV miscela	2.416 g/cm ³
Volume di vuoti	4 %
Volume aggregato	83.1 %
Volume legante	12.9 %

	T [°C]	S _{bit.} [MPa]	B*	R*	E _{inf} [MPa]	E* [MPa]
gen	7.5	120.7	0.04025	0.322	31619	10170
feb	9.2	98.6	0.03288	0.292	31619	9234
mar	12.5	66.2	0.02206	0.239	31619	7564
apr	17.4	36.5	0.01216	0.174	31619	5496
mag	23.6	17.3	0.00578	0.113	31619	3558
giu	28.9	9.1	0.00305	0.075	31619	2370
lug	32.5	5.9	0.00197	0.056	31619	1764
ago	32.2	6.1	0.00205	0.057	31619	1811
set	27.6	10.7	0.00355	0.083	31619	2619
ott	21.0	23.8	0.00794	0.136	31619	4304
nov	14.7	50.6	0.01688	0.208	31619	6574
dic	9.5	94.9	0.03164	0.287	31619	9063

Caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi

Stratigrafia della pavimentazione

Usura	4.0 cm
Collegamento	4.0 cm
Base	8.0 cm

COLLEGAMENTO

Conglomerato	
Contenuto di bitume	5.35 %
MV bitume	1.02 g/cm ³
MV aggregati	2.75 g/cm ³
MV miscela	2.380 g/cm ³
Volume di vuoti	6 %
Volume aggregato	82.2 %
Volume legante	11.8 %

	T [°C]	S _{bit.} [MPa]	B*	R*	E _{inf} [MPa]	E* [MPa]
gen	7.6	119.5	0.03984	0.355	29341	10407
feb	9.3	97.9	0.03264	0.324	29341	9509
mar	12.5	66.1	0.02203	0.269	29341	7888
apr	17.4	36.7	0.01225	0.199	29341	5837
mag	23.4	17.7	0.00589	0.132	29341	3863
giu	28.6	9.4	0.00314	0.089	29341	2621
lug	32.2	6.1	0.00204	0.067	29341	1975
ago	31.9	6.3	0.00212	0.069	29341	2026
set	27.4	10.9	0.00365	0.098	29341	2884
ott	20.8	24.1	0.00805	0.158	29341	4630
nov	14.7	50.8	0.01692	0.236	29341	6912
dic	9.6	94.3	0.03144	0.318	29341	9345

Caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi

Stratigrafia della pavimentazione

Usura	4.0 cm
Collegamento	4.0 cm
Base	8.0 cm

BASE

Conglomerato	
Contenuto di bitume	4.85 %
MV bitume	1.02 g/cm ³
MV aggregati	2.75 g/cm ³
MV miscela	2.371 g/cm ³
Volume di vuoti	7 %
Volume aggregato	82.2 %
Volume legante	10.8 %

	T [°C]	S _{bit.} [MPa]	B*	R*	E _{inf} [MPa]	E*
gen	7.7	117.9	0.03931	0.403	29212	11765
feb	9.3	97.0	0.03234	0.371	29212	10837
mar	12.5	66.0	0.02200	0.313	29212	9133
apr	17.3	37.1	0.01237	0.237	29212	6917
mag	23.2	18.1	0.00604	0.161	29212	4709
giu	28.3	9.8	0.00325	0.112	29212	3271
lug	31.8	6.4	0.00213	0.086	29212	2505
ago	31.5	6.6	0.00221	0.088	29212	2566
set	27.1	11.3	0.00377	0.123	29212	3580
ott	20.7	24.6	0.00820	0.191	29212	5577
nov	14.7	51.0	0.01698	0.277	29212	8087
dic	9.6	93.5	0.03116	0.365	29212	10667

TITLE: Pedemontana - 1.200.000 veicoli annui (riferimento)

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)----- = 6
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 4
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m³, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 4 8 15 15
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.25 0.25 0.45
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.017E+07 2 1.041E+07
3 1.177E+07 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 2 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 9.234E+06 2 9.509E+06
3 1.084E+07 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 3 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 7.564E+06 2 7.888E+06
3 9.133E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 4 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 5.496E+06 2 5.837E+06
3 6.917E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 5 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 3.558E+06 2 3.863E+06
3 4.709E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 6 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2.370E+06 2 2.621E+06
3 3.271E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 7 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.764E+06 2 1.975E+06
3 2.505E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 8 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.811E+06 2 2.026E+06
3 2.566E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 9 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2.619E+06 2 2.884E+06
3 3.580E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 10 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 4.304E+06 2 4.630E+06
3 5.577E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 11 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 6.574E+06 2 6.912E+06
3 8.087E+06 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

FOR PERIOD NO. 12 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 9.063E+06 2 9.345E+06
3 1.067E+07 4 8.000E+05 5 5.000E+05 6 1.000E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 9.54
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 700
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 2
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 0.000

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

LAYER NO. FOR TOP COMPRESSION (LNTC) ARE: 4 6

LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 1 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 2 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 3 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 4 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 5 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 6 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 7 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 8 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 9 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 10 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 11 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000
LOAD REPETITIONS (TNLR) IN PERIOD 12 FOR EACH LOAD GROUP ARE : 100000

DAMAGE COEF.'S (FT) FOR BOTTOM TENSION OF LAYER 3 ARE: 0.42 3.291 0.854

DAMAGE COEFFICIENTS (FT) FOR TOP COMPRESSION OF LAYER 4 ARE: 1.365E-09 4.477

DAMAGE COEFFICIENTS (FT) FOR TOP COMPRESSION OF LAYER 6 ARE: 1.365E-09 4.477

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

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE (P. STRAIN)	VERTICAL DISPL. (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS (STRAIN)
1	8.00000	0.02065	426.483	435.066	146.928	154.697
	(STRAIN)	-4.709E-06	3.055E-05	3.166E-05	-5.716E-06	-4.708E-06
1	16.00000	0.02036	86.200	86.622	-851.812	-711.408
	(STRAIN)	-5.382E-05	5.382E-05	5.387E-05	-5.382E-05	-3.770E-05
1	16.00010	0.02036	86.200	89.423	-25.222	-18.104
	(STRAIN)	-5.382E-05	1.203E-04	1.253E-04	-5.382E-05	-4.269E-05
1	46.00010	0.01799	16.227	16.574	0.690	1.272
	(STRAIN)	-7.341E-05	1.519E-04	1.569E-04	-7.341E-05	-6.497E-05
2	8.00000	0.02065	426.483	435.066	146.928	154.697
	(STRAIN)	-4.709E-06	3.055E-05	3.166E-05	-5.716E-06	-4.708E-06
2	16.00000	0.02036	86.200	86.622	-851.812	-711.408
	(STRAIN)	-5.382E-05	5.382E-05	5.387E-05	-5.382E-05	-3.770E-05
2	16.00010	0.02036	86.200	89.423	-25.222	-18.104
	(STRAIN)	-5.382E-05	1.203E-04	1.253E-04	-5.382E-05	-4.269E-05
2	46.00010	0.01799	16.227	16.574	0.690	1.272
	(STRAIN)	-7.341E-05	1.519E-04	1.569E-04	-7.341E-05	-6.497E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -5.382E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 4.311E+07 DAMAGE RATIO = 2.320E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.203E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 4.832E+08 DAMAGE RATIO = 2.070E-04

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.519E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.700E+08 DAMAGE RATIO = 5.882E-04

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

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE (P. STRAIN)	VERTICAL DISPL. (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS (STRAIN)
1	8.00000	0.02097	429.930	437.975	151.966	159.670
	(STRAIN)	-4.923E-06	3.345E-05	3.459E-05	-6.016E-06	-4.923E-06
1	16.00000	0.02066	90.552	91.024	-814.385	-678.384
	(STRAIN)	-5.618E-05	5.655E-05	5.661E-05	-5.618E-05	-3.924E-05
1	16.00010	0.02066	90.551	93.878	-26.113	-18.560
	(STRAIN)	-5.618E-05	1.261E-04	1.313E-04	-5.618E-05	-4.438E-05
1	46.00010	0.01820	16.640	17.003	0.658	1.270

(STRAIN) -7.565E-05 1.561E-04 1.614E-04 -7.565E-05 -6.677E-05

2 8.00000 0.02097 429.930 437.975 151.966 159.670
(STRAIN) -4.923E-06 3.345E-05 3.459E-05 -6.016E-06 -4.923E-06
2 16.00000 0.02066 90.552 91.024 -814.385 -678.384
(STRAIN) -5.618E-05 5.655E-05 5.661E-05 -5.618E-05 -3.924E-05
2 16.00010 0.02066 90.551 93.878 -26.113 -18.560
(STRAIN) -5.618E-05 1.261E-04 1.313E-04 -5.618E-05 -4.438E-05
2 46.00010 0.01820 16.640 17.003 0.658 1.270
(STRAIN) -7.565E-05 1.561E-04 1.614E-04 -7.565E-05 -6.677E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -5.618E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 4.014E+07 DAMAGE RATIO = 2.491E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.261E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.909E+08 DAMAGE RATIO = 2.558E-04

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.561E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.505E+08 DAMAGE RATIO = 6.646E-04

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

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

1 8.00000 0.02162 437.196 444.145 161.350 168.782
(STRAIN) -5.552E-06 4.047E-05 4.166E-05 -6.741E-06 -5.469E-06
1 16.00000 0.02127 100.030 100.622 -737.350 -610.873
(STRAIN) -6.118E-05 6.260E-05 6.268E-05 -6.118E-05 -4.249E-05
1 16.00010 0.02127 100.029 103.554 -27.909 -19.413
(STRAIN) -6.118E-05 1.387E-04 1.442E-04 -6.118E-05 -4.790E-05
1 46.00010 0.01864 17.494 17.892 0.599 1.276
(STRAIN) -8.027E-05 1.647E-04 1.705E-04 -8.027E-05 -7.044E-05

2 8.00000 0.02162 437.196 444.145 161.350 168.782
(STRAIN) -5.552E-06 4.047E-05 4.166E-05 -6.741E-06 -5.469E-06
2 16.00000 0.02127 100.030 100.622 -737.350 -610.873
(STRAIN) -6.118E-05 6.260E-05 6.268E-05 -6.118E-05 -4.249E-05
2 16.00010 0.02127 100.029 103.554 -27.909 -19.413
(STRAIN) -6.118E-05 1.387E-04 1.442E-04 -6.118E-05 -4.790E-05
2 46.00010 0.01864 17.494 17.892 0.599 1.276
(STRAIN) -8.027E-05 1.647E-04 1.705E-04 -8.027E-05 -7.044E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -6.118E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.509E+07 DAMAGE RATIO = 2.850E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.387E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.551E+08 DAMAGE RATIO = 3.920E-04

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.647E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.183E+08 DAMAGE RATIO = 8.456E-04

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

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

1 8.00000 0.02268 449.221 454.525 173.649 180.352
(STRAIN) -7.092E-06 5.542E-05 5.664E-05 -8.319E-06 -6.769E-06
1 16.00000 0.02225 116.568 117.398 -615.741 -505.485
(STRAIN) -6.938E-05 7.354E-05 7.371E-05 -6.938E-05 -4.786E-05
1 16.00010 0.02225 116.567 120.338 -30.526 -20.421
(STRAIN) -6.938E-05 1.605E-04 1.663E-04 -6.938E-05 -5.359E-05
1 46.00010 0.01932 18.867 19.322 0.530 1.320

(STRAIN) -8.759E-05 1.783E-04 1.849E-04 -8.759E-05 -7.613E-05

2 8.00000 0.02268 449.221 454.525 173.649 180.352
(STRAIN) -7.092E-06 5.542E-05 5.664E-05 -8.319E-06 -6.769E-06
2 16.00000 0.02225 116.568 117.398 -615.741 -505.485
(STRAIN) -6.938E-05 7.354E-05 7.371E-05 -6.938E-05 -4.786E-05
2 16.00010 0.02225 116.567 120.338 -30.526 -20.421
(STRAIN) -6.938E-05 1.605E-04 1.663E-04 -6.938E-05 -5.359E-05
2 46.00010 0.01932 18.867 19.322 0.530 1.320
(STRAIN) -8.759E-05 1.783E-04 1.849E-04 -8.759E-05 -7.613E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -6.938E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.941E+07 DAMAGE RATIO = 3.401E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.605E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.330E+08 DAMAGE RATIO = 7.519E-04

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.783E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 8.295E+07 DAMAGE RATIO = 1.206E-03

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

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

1 8.00000 0.02416 466.279 469.732 185.691 191.104
(STRAIN) -1.060E-05 8.625E-05 8.746E-05 -1.180E-05 -9.913E-06
1 16.00000 0.02357 141.520 142.765 -457.574 -370.266
(STRAIN) -8.026E-05 9.149E-05 9.185E-05 -8.026E-05 -5.523E-05
1 16.00010 0.02357 141.518 145.449 -33.023 -20.705
(STRAIN) -8.026E-05 1.925E-04 1.986E-04 -8.026E-05 -6.101E-05
1 46.00010 0.02023 20.748 21.282 0.521 1.475
(STRAIN) -9.720E-05 1.961E-04 2.038E-04 -9.720E-05 -8.337E-05

2 8.00000 0.02416 466.279 469.732 185.691 191.104
(STRAIN) -1.060E-05 8.625E-05 8.746E-05 -1.180E-05 -9.913E-06
2 16.00000 0.02357 141.520 142.765 -457.574 -370.266
(STRAIN) -8.026E-05 9.149E-05 9.185E-05 -8.026E-05 -5.523E-05
2 16.00010 0.02357 141.518 145.449 -33.023 -20.705
(STRAIN) -8.026E-05 1.925E-04 1.986E-04 -8.026E-05 -6.101E-05
2 46.00010 0.02023 20.748 21.282 0.521 1.475
(STRAIN) -9.720E-05 1.961E-04 2.038E-04 -9.720E-05 -8.337E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -8.026E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.528E+07 DAMAGE RATIO = 3.955E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.925E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 5.890E+07 DAMAGE RATIO = 1.698E-03

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.961E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 5.416E+07 DAMAGE RATIO = 1.846E-03

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

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

1 8.00000 0.02562 482.628 484.832 192.663 196.766
(STRAIN) -1.638E-05 1.318E-04 1.330E-04 -1.751E-05 -1.540E-05
1 16.00000 0.02481 166.833 168.541 -321.620 -255.226
(STRAIN) -8.905E-05 1.125E-04 1.132E-04 -8.905E-05 -6.165E-05
1 16.00010 0.02481 166.832 170.705 -33.379 -19.263
(STRAIN) -8.905E-05 2.238E-04 2.298E-04 -8.905E-05 -6.699E-05
1 46.00010 0.02109 22.540 23.147 0.632 1.747

(STRAIN) -1.057E-04 2.120E-04 2.208E-04 -1.057E-04 -8.954E-05

2 8.00000 0.02562 482.628 484.832 192.663 196.766
(STRAIN) -1.638E-05 1.318E-04 1.330E-04 -1.751E-05 -1.540E-05
2 16.00000 0.02481 166.833 168.541 -321.620 -255.226
(STRAIN) -8.905E-05 1.125E-04 1.132E-04 -8.905E-05 -6.165E-05
2 16.00010 0.02481 166.832 170.705 -33.379 -19.263
(STRAIN) -8.905E-05 2.238E-04 2.298E-04 -8.905E-05 -6.699E-05
2 46.00010 0.02109 22.540 23.147 0.632 1.747
(STRAIN) -1.057E-04 2.120E-04 2.208E-04 -1.057E-04 -8.954E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -8.905E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.452E+07 DAMAGE RATIO = 4.079E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 2.238E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.999E+07 DAMAGE RATIO = 3.334E-03

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 2.120E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.823E+07 DAMAGE RATIO = 2.616E-03

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

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

1	8.00000	0.02676	494.499	496.064	195.590	198.736
	(STRAIN)	-2.303E-05	1.802E-04	1.813E-04	-2.410E-05	-2.195E-05
1	16.00000	0.02572	185.957	188.017	-232.200	-179.844
	(STRAIN)	-9.384E-05	1.315E-04	1.326E-04	-9.384E-05	-6.562E-05
1	16.00010	0.02572	185.959	189.675	-31.852	-16.799
	(STRAIN)	-9.384E-05	2.465E-04	2.523E-04	-9.384E-05	-7.032E-05
1	46.00010	0.02173	23.883	24.540	0.801	2.034
	(STRAIN)	-1.116E-04	2.231E-04	2.326E-04	-1.116E-04	-9.369E-05
2	8.00000	0.02676	494.499	496.064	195.590	198.736
	(STRAIN)	-2.303E-05	1.802E-04	1.813E-04	-2.410E-05	-2.195E-05
2	16.00000	0.02572	185.957	188.017	-232.200	-179.844
	(STRAIN)	-9.384E-05	1.315E-04	1.326E-04	-9.384E-05	-6.562E-05
2	16.00010	0.02572	185.959	189.675	-31.852	-16.799
	(STRAIN)	-9.384E-05	2.465E-04	2.523E-04	-9.384E-05	-7.032E-05
2	46.00010	0.02173	23.883	24.540	0.801	2.034
	(STRAIN)	-1.116E-04	2.231E-04	2.326E-04	-1.116E-04	-9.369E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -9.384E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.592E+07 DAMAGE RATIO = 3.858E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 2.465E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.946E+07 DAMAGE RATIO = 5.140E-03

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 2.231E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.039E+07 DAMAGE RATIO = 3.290E-03

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

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

1	8.00000	0.02666	493.448	495.062	195.411	198.641
	(STRAIN)	-2.231E-05	1.752E-04	1.763E-04	-2.339E-05	-2.124E-05
1	16.00000	0.02564	184.228	186.257	-239.885	-186.320
	(STRAIN)	-9.348E-05	1.297E-04	1.307E-04	-9.348E-05	-6.530E-05
1	16.00010	0.02564	184.230	187.963	-32.062	-17.076
	(STRAIN)	-9.348E-05	2.445E-04	2.503E-04	-9.348E-05	-7.006E-05
1	46.00010	0.02167	23.761	24.414	0.782	2.005

(STRAIN) -1.111E-04 2.221E-04 2.316E-04 -1.111E-04 -9.333E-05

2 8.00000 0.02666 493.448 495.062 195.411 198.641
(STRAIN) -2.231E-05 1.752E-04 1.763E-04 -2.339E-05 -2.124E-05
2 16.00000 0.02564 184.228 186.257 -239.885 -186.320
(STRAIN) -9.348E-05 1.297E-04 1.307E-04 -9.348E-05 -6.530E-05
2 16.00010 0.02564 184.230 187.963 -32.062 -17.076
(STRAIN) -9.348E-05 2.445E-04 2.503E-04 -9.348E-05 -7.006E-05
2 46.00010 0.02167 23.761 24.414 0.782 2.005
(STRAIN) -1.111E-04 2.221E-04 2.316E-04 -1.111E-04 -9.333E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -9.348E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.571E+07 DAMAGE RATIO = 3.889E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 2.445E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.018E+07 DAMAGE RATIO = 4.955E-03

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 2.221E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.100E+07 DAMAGE RATIO = 3.225E-03

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

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

1	8.00000	0.02525	478.607	481.076	191.348	195.782
	(STRAIN)	-1.464E-05	1.187E-04	1.198E-04	-1.579E-05	-1.372E-05
1	16.00000	0.02450	160.462	162.051	-353.879	-282.455
	(STRAIN)	-8.708E-05	1.069E-04	1.075E-04	-8.708E-05	-6.014E-05
1	16.00010	0.02450	160.460	164.365	-33.522	-19.806
	(STRAIN)	-8.708E-05	2.160E-04	2.221E-04	-8.708E-05	-6.565E-05
1	46.00010	0.02087	22.094	22.683	0.592	1.667
	(STRAIN)	-1.037E-04	2.081E-04	2.167E-04	-1.037E-04	-8.807E-05
2	8.00000	0.02525	478.607	481.076	191.348	195.782
	(STRAIN)	-1.464E-05	1.187E-04	1.198E-04	-1.579E-05	-1.372E-05
2	16.00000	0.02450	160.462	162.051	-353.879	-282.455
	(STRAIN)	-8.708E-05	1.069E-04	1.075E-04	-8.708E-05	-6.014E-05
2	16.00010	0.02450	160.460	164.365	-33.522	-19.806
	(STRAIN)	-8.708E-05	2.160E-04	2.221E-04	-8.708E-05	-6.565E-05
2	46.00010	0.02087	22.094	22.683	0.592	1.667
	(STRAIN)	-1.037E-04	2.081E-04	2.167E-04	-1.037E-04	-8.807E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -8.708E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.443E+07 DAMAGE RATIO = 4.093E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 2.160E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.512E+07 DAMAGE RATIO = 2.847E-03

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 2.081E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 4.149E+07 DAMAGE RATIO = 2.410E-03

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

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

1	8.00000	0.02351	458.730	462.930	181.050	187.057
	(STRAIN)	-8.807E-06	7.093E-05	7.216E-05	-1.003E-05	-8.280E-06
1	16.00000	0.02299	130.276	131.328	-525.506	-428.117
	(STRAIN)	-7.560E-05	8.314E-05	8.340E-05	-7.560E-05	-5.203E-05
1	16.00010	0.02299	130.275	134.164	-32.133	-20.770
	(STRAIN)	-7.560E-05	1.782E-04	1.842E-04	-7.560E-05	-5.785E-05
1	46.00010	0.01983	19.922	20.422	0.511	1.392

(STRAIN) -9.305E-05 1.884E-04 1.957E-04 -9.305E-05 -8.028E-05

2 8.00000 0.02351 458.730 462.930 181.050 187.057
(STRAIN) -8.807E-06 7.093E-05 7.216E-05 -1.003E-05 -8.280E-06
2 16.00000 0.02299 130.276 131.328 -525.506 -428.117
(STRAIN) -7.560E-05 8.314E-05 8.340E-05 -7.560E-05 -5.203E-05
2 16.00010 0.02299 130.275 134.164 -32.133 -20.770
(STRAIN) -7.560E-05 1.782E-04 1.842E-04 -7.560E-05 -5.785E-05
2 46.00010 0.01983 19.922 20.422 0.511 1.392
(STRAIN) -9.305E-05 1.884E-04 1.957E-04 -9.305E-05 -8.028E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -7.560E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.664E+07 DAMAGE RATIO = 3.753E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.782E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 8.322E+07 DAMAGE RATIO = 1.202E-03

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.884E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 6.479E+07 DAMAGE RATIO = 1.544E-03

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 11 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 (STRAIN)
-----------	---------------------	--	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------

1	8.00000	0.02209	442.415	448.618	167.122	174.268
		(STRAIN)	-6.150E-06	4.641E-05	4.762E-05	-7.362E-06 -5.967E-06
1	16.00000	0.02170	107.098	107.786	-683.493	-564.055
		(STRAIN)	-6.477E-05	6.721E-05	6.732E-05	-6.477E-05 -4.483E-05
1	16.00010	0.02170	107.096	110.741	-29.112	-19.920
		(STRAIN)	-6.477E-05	1.481E-04	1.537E-04	-6.477E-05 -5.041E-05
1	46.00010	0.01894	18.097	18.520	0.564	1.290
		(STRAIN)	-8.351E-05	1.707E-04	1.769E-04	-8.351E-05 -7.298E-05
2	8.00000	0.02209	442.415	448.618	167.122	174.268
		(STRAIN)	-6.150E-06	4.641E-05	4.762E-05	-7.362E-06 -5.967E-06
2	16.00000	0.02170	107.098	107.786	-683.493	-564.055
		(STRAIN)	-6.477E-05	6.721E-05	6.732E-05	-6.477E-05 -4.483E-05
2	16.00010	0.02170	107.096	110.741	-29.112	-19.920
		(STRAIN)	-6.477E-05	1.481E-04	1.537E-04	-6.477E-05 -5.041E-05
2	46.00010	0.01894	18.097	18.520	0.564	1.290
		(STRAIN)	-8.351E-05	1.707E-04	1.769E-04	-8.351E-05 -7.298E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -6.477E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.227E+07 DAMAGE RATIO = 3.099E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.481E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.906E+08 DAMAGE RATIO = 5.246E-04

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.707E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.007E+08 DAMAGE RATIO = 9.927E-04

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 12 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 (STRAIN)
-----------	---------------------	--	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------

1	8.00000	0.02103	430.607	438.550	152.930	160.621
		(STRAIN)	-4.965E-06	3.404E-05	3.519E-05	-6.076E-06 -4.965E-06
1	16.00000	0.02072	91.407	91.890	-807.219	-672.077
		(STRAIN)	-5.664E-05	5.709E-05	5.715E-05	-5.664E-05 -3.953E-05
1	16.00010	0.02072	91.407	94.754	-26.283	-18.645
		(STRAIN)	-5.664E-05	1.273E-04	1.325E-04	-5.664E-05 -4.470E-05
1	46.00010	0.01824	16.720	17.086	0.652	1.270

(STRAIN) -7.608E-05 1.569E-04 1.622E-04 -7.608E-05 -6.712E-05

2 8.00000 0.02103 430.607 438.550 152.930 160.621
(STRAIN) -4.965E-06 3.404E-05 3.519E-05 -6.076E-06 -4.965E-06
2 16.00000 0.02072 91.407 91.890 -807.219 -672.077
(STRAIN) -5.664E-05 5.709E-05 5.715E-05 -5.664E-05 -3.953E-05
2 16.00010 0.02072 91.407 94.754 -26.283 -18.645
(STRAIN) -5.664E-05 1.273E-04 1.325E-04 -5.664E-05 -4.470E-05
2 46.00010 0.01824 16.720 17.086 0.652 1.270
(STRAIN) -7.608E-05 1.569E-04 1.622E-04 -7.608E-05 -6.712E-05

AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -5.664E-05
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.961E+07 DAMAGE RATIO = 2.524E-03

AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 1.273E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 3.754E+08 DAMAGE RATIO = 2.663E-04

AT TOP OF LAYER 6 COMPRESSIVE STRAIN = 1.569E-04
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.470E+08 DAMAGE RATIO = 6.801E-04

* SUMMARY OF DAMAGE ANALYSIS *

AT BOTTOM OF LAYER 3 SUM OF DAMAGE RATIO = 4.031E-02
AT TOP OF LAYER 4 SUM OF DAMAGE RATIO = 2.157E-02
AT TOP OF LAYER 6 SUM OF DAMAGE RATIO = 1.991E-02

MAXIMUM DAMAGE RATIO = 4.031E-02