

ACCORDO DI PROGRAMMA 8 OTTOBRE 2005
INTERVENTI DI SMANTELLAMENTO, DEMOLIZIONE, BONIFICA E
INFRASTRUTTURAZIONE DELLE AREE DI CORNIGLIANO

OGGETTO:

**STRADA DI COLLEGAMENTO ALL'ACCESSO EST DELLO STABILIMENTO
ILVA E ALLE FUTURE AREE PORTUALI**

TITOLO:

RELAZIONE TECNICA DIMENSIONAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI

N. DOC.

055/PES/6.03/R020

Rev.	Data	Redatto	Verificato	Validato	Descrizione
A	01/2014	CC	CR/Siciv	-	Per commenti
1	06/2015	CC	SG/Siciv	FR	Per emissione

INDICE

1.0 – PREMESSA	2
2.0 – NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3.0 – INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
4.0 – CARATTERISTICHE DI PORTANZA DEL SOTTOFONDO	3
5.0 – DIMENSIONAMENTO	3
5.1 PROCEDURA DI CALCOLO	3
5.2 VARIABILI DI PROGETTO	4
5.2.1 VITA UTILE DELLA PAVIMENTAZIONE	4
5.2.2 DATI DI TRAFFICO	4
5.2.3 INDICE DI SERVIZIO	6
5.2.4 CONDIZIONI AMBIENTALI	6
5.2.5 AFFIDABILITÀ	6
5.2.6 PORTANZA DEL SOTTOFONDO	7
5.2.7 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI STRATI DELLA PAVIMENTAZIONE	7
5.2.8 DRENAGGIO	8
5.2.9 DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE	9
6.0 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE	11

1.0 – PREMESSA

L'intervento oggetto della presente relazione è la realizzazione del collegamento viario tra la rotatoria in via S. Giovanni D'Acri con l'accesso Est delle aree ILVA, rimanendo all'interno delle aree di proprietà di Società per Cornigliano.

2.0 – NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le soluzioni adottate sono state scelte in ottemperanza alla normativa generale e speciale di settore; i riferimenti normativi utilizzati sono, a titolo esemplificativo e non esaustivo:

1. D.M. Infrastrutture e Trasporti, 5 Novembre 2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade;
2. Decreto legislativo 30 Aprile 1992 (agg. 13 Marzo 2015) – Nuovo Codice della Strada.;
3. Bollettino Ufficiale n.178 del 15 Settembre 1995.

3.0 – INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in oggetto si trova individuata nelle proprietà di Società per Cornigliano, delimitata ad ovest e a sud dalla recinzione che costituisce il confine dello stabilimento ILVA, ad est dal piazzale asfaltato adibito a deposito e stoccaggio di container e a nord dalle aree di cantiere della strada urbana di scorrimento.



Figura 1-Foto aerea dell'area interessata dall'intervento in Progetto.

4.0 – CARATTERISTICHE DI PORTANZA DEL SOTTOFONDO

Da quanto emerge dalle campagne di indagini eseguite sull'area in esame e dalle informazioni sui parametri geotecnici attribuiti ai terreni in sito, è possibile desumere che, nella zona di intervento, in particolare nelle porzioni più superficiali della stratigrafia, sono presenti frequenti riporti di materiale.

Queste aree, infatti, hanno subito nel tempo sistemazioni e rimodellazioni da parte dell'uomo vedendo, nel contempo, variare la propria destinazione d'uso. Su tutta l'area, dunque, sono presenti con continuità, riporti antropici i quali hanno natura eterogenea.

Tali riporti sono costituiti da materiali sia di tipo naturale che artificiale, e sono formati da ghiaie di diversa pezzatura e da elementi lapidei di varia matrice caratterizzati da permeabilità abbastanza elevata. Nella classificazione USCS tali materiali possono essere fatti rientrare prevalentemente nelle classi GP-GM; assumendo i seguenti parametri geotecnici medi:

$$\gamma = 2 - 2,1 \text{ t/m}^3$$

$$\varphi = 31^\circ - 33^\circ$$

$$c' = 0$$

$$K = 1,46 \cdot 10^{-4} - 8,55 \cdot 10^{-4} \text{ m/s.}$$

La determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni è stata effettuata attraverso una campagna di prove S.P.T. (Standard Penetration Test). Dai valori di N_{SPT} , tramite la correlazione di Schmertmann si è ricavato il valore del modulo elastico del sottofondo:

$$E = 2BN_{SPT} = 46 \text{ MPa}$$

con $B = 10$ (sabbia grossolana).

5.0 – DIMENSIONAMENTO

Alla luce dei risultati esposti e della tipologia di traffico che insisterà sulle infrastrutture in progetto (quasi esclusivamente mezzi pesanti, data la presenza dello stabilimento ILVA) si è proceduto al dimensionamento della sovrastruttura stradale.

5.1 PROCEDURA DI CALCOLO

Il calcolo della pavimentazione è stato effettuato secondo la procedura delineata dall'*American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) "Guide for the Design of Pavement Structures"* (1993).

Essa si fonda su equazioni derivate da prove su strada condotte negli Stati Uniti tra gli anni '50 e '60 (note come *AASHTO Road Test*) e successivamente modificate per adattare le condizioni originali di prova (in termini di fattori climatici, metodi costruttivi e condizioni di traffico) alle realtà di altri Paesi.

La procedura si basa sulla determinazione dello *Structural Number (SN)*, che rappresenta la richiesta complessiva di resistenza strutturale che la pavimentazione deve soddisfare per sostenere il carico derivante dal traffico di progetto, deteriorandosi, alla fine della sua vita utile, a un livello prefissato.

Dalla conoscenza dello *Structural Number*, delle caratteristiche di portanza del sottofondo e delle proprietà meccaniche e drenanti dei materiali da impiegare per la costruzione dei singoli strati è possibile determinare lo spessore minimo di questi ultimi.

5.2 VARIABILI DI PROGETTO

La progettazione secondo il metodo AASHTO è basata sulla conoscenza delle seguenti variabili progettuali:

- Arco temporale di riferimento;
- Traffico;
- Indice di servizio;
- Condizioni ambientali;
- Affidabilità;
- Portanza del sottofondo;
- Caratteristiche meccaniche degli strati della pavimentazione;
- Drenaggio.

5.2.1 VITA UTILE DELLA PAVIMENTAZIONE

Il progetto della pavimentazione flessibile è stato riferito a un periodo di analisi di 20 anni.

5.2.2 DATI DI TRAFFICO

Non avendo informazioni specifiche su questa variabile si sono fatte delle ipotesi basandosi su quanto riportato nel Bollettino Ufficiale n.178 de 15 Settembre 1995. In particolare si è considerato un livello di traffico *tipo 2°* che prevede il passaggio di 1.500.000 veicoli/anno sulla corsia più caricata. Per veicoli si intendono unicamente quelli commerciali ovvero quelli che presentano una massa complessiva maggiore o uguale a 3t.

Come spettro di traffico si è considerato il seguente:

Tabella 1- Spettro di traffico

Tipo di veicolo	Distribuzione carichi per asse [kN]	Percentuale di traffico	Passaggi / anno
Autocarri leggeri	↓10 ↓20	45,0%	675.000
Autocarri leggeri	↓15 ↓30	43,5%	652.500
Autocarri medi e pesanti	↓40 ↓80	6,0%	90.000
Autocarri pesanti	↓40 ↓80↓80	2,0%	30.000
Autotreni e autoarticolati	↓40 ↓80↓80 ↓80↓80	2,0%	30.000
Autotreni e autoarticolati	↓40 ↓100 ↓80↓80↓80	1,0%	15.000
Mezzi d'opera	↓50 ↓120 ↓130↓130↓130	0,5%	7.500

Questo spettro non corrisponde a nessuno di quelli proposti dal CNR nel Bollettino Ufficiale n.178 de 15 Settembre 1995 (nel quale sono distinti in funzione della categoria di strada) ma è stato bensì calibrato per tener conto della specificità delle condizioni di traffico nell'area industriale interessata dal progetto.

Al fine di esprimere il traffico in termini di numero di passaggi equivalenti di assi singoli da 80 kN (*Equivalent Single-Axle Load*, ESAL), si moltiplica il numero di passaggi annui di ciascun asse (sia esso singolo, tandem o tridem) per il rispettivo *equivalent axle load factor* (EALF), che definisce il rapporto tra il danno arrecato alla pavimentazione dall'asse in questione e l'analogo danno causato dall'asse standard da 80 kN.

I valori di EALF, derivati dall'apposita tabella redatta dall'Asphalt Institute, e di ESAL/anno per ciascun tipo di veicolo sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 2- Numero passaggi equivalenti

Tipo di veicolo	Distribuzione carichi per asse [kN]	EALF	Passaggi / anno	ESAL / anno
Autocarri leggeri	↓10 ↓20	0,015	675.000	10.125
Autocarri leggeri	↓15 ↓30	0,032	652.500	20.880
Autocarri medi e pesanti	↓40 ↓80	1,0562	90.000	95.058
Autocarri pesanti	↓40 ↓80↓80	1,4362	30.000	43.086
Autotreni e autoarticolati	↓40 ↓80↓80 ↓80↓80	2,8162	30.000	84.486
Autotreni e autoarticolati	↓40 ↓100 ↓80↓80↓80	3,8962	15.000	58.443
Mezzi d'opera	↓50 ↓120 ↓130↓130↓130	9,2	7.500	69.000
		Totale	1.500.000	381.078

Quello riportato in tabella rappresenta il numero complessivo dei passaggi di assi equivalenti sulla corsia più caricata nel corso del suo primo anno di vita.

Il numero complessivo di passaggi equivalenti standard da 80KN al termine della vita utile è stato calcolato dopo aver preventivamente stimato il tasso di crescita annuo del traffico pari allo 0,5%.

Il numero di ESAL complessivi dopo 20 anni è, pertanto:

$$W_{18} = 381.078 \cdot \frac{(1 + 0.005)^{20} - 1}{0.005} = 7.994.679 \text{ ESAL}$$

5.2.3 INDICE DI SERVIZIO

Il metodo AASHTO definisce il *Present Serviceability Index (PSI)* come il livello di idoneità di una pavimentazione, in un particolare momento della sua vita, a servire il traffico, garantendo determinati livelli di sicurezza e comfort nella guida. Tale parametro è funzione della deformazione permanente in superficie, della regolarità superficiale e della presenza di fessurazioni.

Il PSI è espresso da un numero compreso tra 0 (livello molto scadente) a 5 (livello eccellente).

Si è ipotizzato che la pavimentazione, immediatamente dopo la sua realizzazione, abbia un indice di servizio molto buono, corrispondente a:

$$PSI_i = 4,5$$

Si è inoltre imposto che alla fine della sua vita utile la pavimentazione raggiunga uno stato di deterioramento tale che l'indice di servizio risulti pari a:

$$PSI_f = 1,5$$

Da questi valori si ricava la variazione dell'indice di servizio nell'arco della sua vita utile:

$$\Delta PSI = PSI_i - PSI_f = 4,5 - 1,5 = 3$$

5.2.4 CONDIZIONI AMBIENTALI

Le equazioni per il dimensionamento delle pavimentazioni fornite dal metodo AASHTO furono sviluppate sulla base di test condotti in un intervallo di tempo molto limitato, se paragonato alla vita utile di una pavimentazione stradale, e in una circoscritta area geografica. Di conseguenza esse devono essere calibrate per tener conto di fenomeni legati a fattori ambientali e climatici che si possono sviluppare su tempi lunghi. In particolare, il PSI di una pavimentazione può essere influenzato in maniera negativa dal rigonfiamento differenziale di un eventuale sottofondo costituito da argille o dall'effetto del gelo.

Come emerso dalle indagini geognostiche si è in presenza di terre non plastiche e non compressibili e dunque entrambi questi fattori non sono applicabili al caso in esame e non se ne terrà conto nel calcolo della pavimentazione.

5.2.5 AFFIDABILITÀ

L'affidabilità **R** è la probabilità che una pavimentazione stradale progettata col metodo AASHTO abbia effettivamente un rendimento soddisfacente per tutta la durata della sua vita utile sotto gli effetti del carico stradale e delle condizioni climatiche. Tale termine di

affidabilità consente di tener conto delle condizioni aleatorie che possono inficiare le previsioni di traffico e le prestazioni dei materiali utilizzati nella composizione dei diversi strati. L'affidabilità del processo di dimensionamento restituisce dunque la probabilità di adeguato funzionamento della pavimentazione (progettata in determinate condizioni di traffico ed ambientali) per il periodo di progetto.

L'affidabilità è espressa mediante due fattori: la *deviazione normale standard* Z_R e l'*errore standard* S_0 combinato del traffico stimato e del traffico che la pavimentazione può sopportare.

Per queste due grandezze si sono adottati i valori corrispondenti ad un'affidabilità del 98%:

$$Z_R = -2,054$$

$$S_0 = 0,50$$

Affermare che $R=98\%$ significa che in 98 casi su 100 le previsioni di progetto (traffico e prestazioni di progetto) consentono di raggiungere una prefissata vita utile. Viceversa nel 2% dei casi ciò non si verifica.

5.2.6 PORTANZA DEL SOTTOFONDO

Nel metodo *Design Guide for the Design of Pavement Structures* (1993) la capacità portante del sottofondo è espresso in termini di Modulo Resiliente. La scelta di tale parametro è dettata dal fatto che esso meglio rappresenta il comportamento del sottofondo, in quanto consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione. Tuttavia nell'ambito della campagna di prove che ha interessato l'area di intervento non sono state condotte prove atte alla determinazione di questo parametro. Dunque si è proceduto ad una stima del valore da attribuire a questa grandezza sulla base di altri parametri di portanza. In particolare le prove penetrometriche hanno consentito di stimare, attraverso il numero di colpi N_{SPT} , un modulo elastico pari al 46MPa.

In considerazione di ciò, e sulla base delle seguenti correlazioni empiriche, si ricavato un modulo resiliente pari a:

$$M_R = 90N/mm^2 = 10153psi$$

ottenuto mediante:

$$E[MPa] = 5 * CBR, \text{ (Rafiroiu)}$$

$$M_R[MPa] = 10 * CBR, \text{ (AASHTO Guide)}$$

5.2.7 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI STRATI DELLA PAVIMENTAZIONE

Per dimensionare correttamente la pavimentazione bisogna fissare le caratteristiche meccaniche dei materiali dei vari strati che la compongono.

Dalla conoscenza del modulo resiliente di ciascun materiale, è possibile ricavare, attraverso appositi grafici, i relativi coefficienti di spessore, che insieme alle caratteristiche drenanti dei

materiali, contribuiscono alla determinazione degli spessori dei singoli strati

Tabella 3- Coefficienti di spessore

Strato	Materiale	Modulo resiliente [psi]	Coefficiente di spessore
Usura	Conglomerato bituminoso	450.000	0,43
Base	Conglomerato bituminoso	400.000	0,32
Fondazione	Misto granulare non legato	30.000	0,14

5.2.8 DRENAGGIO

Per tenere conto delle diverse capacità drenanti dei materiali impiegati nella costruzione degli strati non legati della pavimentazione rispetto a quelli usati per l'AASHTO Road Test, nella definizione dello Structural Number concorrono dei coefficienti di drenaggio m_i . Tali coefficienti modificano il valore attribuito al coefficiente di spessore a_i di ogni strato non legato al di sopra del sottofondo. Gli strati in conglomerato bituminoso, o realizzati con materiali legati, infatti, non sono influenzati da un'eventuale cattivo drenaggio o dall'esposizione a condizioni di saturazione e dunque in questi casi si pone $m_i=1$.

Per gli altri strati i coefficienti m_i sono determinati considerando la qualità del drenaggio e il tempo, in percentuale, in cui la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicini alla saturazione come riportato nella seguente tabella.

Tabella 4- Coefficienti di drenaggio

Qualità del drenaggio	Tempo di rimozione dell'acqua	Percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione			
		< 1%	Dall'1% al 5%	Dal 5% al 15%	> 25%
Eccellente	2 ore	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Buona	1 giorno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Media	1 settimana	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Scarsa	1 mese	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Molto scarsa	Non rimossa	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Le indagini geognostiche hanno evidenziato una buona capacità drenante degli strati che costituiranno il sottofondo e dunque la qualità del drenaggio può classificarsi come buona. Le condizioni di falda e di piovosità permettono di affermare che la percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione è variabile tra 1% ed il 5%. Alla luce di quanto detto si è assunto per la fondazione (unico strato non legato al di sopra del sottofondo) un coefficiente di drenaggio $m_3=1.15$.

5.2.9 DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE

Definite tutte le variabili progettuali, è possibile utilizzare l'equazione finale proposta dal metodo AASHTO per il calcolo delle pavimentazioni flessibili:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

Sostituendo i valori noti si ricava il valore dello Structural Number:

$$SN = 4,0473 \text{ in}$$

Questo valore rappresenta la minima resistenza, espressa in numero di passaggi di assi singoli da 18 kip (80kN=8,2t) equivalenti, che la pavimentazione nel suo complesso deve offrire.

Per il calcolo della resistenza effettiva SN_f della pavimentazione si considera l'equazione dello Structural Number fornita dal metodo AASHTO:

$$SN = a_1 * m_1 * H_1 + a_2 * m_2 * H_2 + a_3 * m_3 * H_3 \geq 4,0473 \text{ in}$$

In cui:

H_1 = spessore dello strato usura+binder;

H_2 = spessore dello strato di base;

H_3 = spessore dello strato di fondazione;

a_1 = 0.43 coefficiente di spessore dello strato usura+binder;

a_2 = 0.32 coefficiente di spessore dello strato di base;

a_3 = 0.14 coefficiente di spessore dello strato di fondazione;

m_1 = 1 coefficiente di drenaggio dello strato usura+binder;

m_2 = 1 coefficiente di drenaggio dello strato di base;

m_3 = 1.15 coefficiente di drenaggio dello strato di fondazione.

È immediato notare che questa equazione non ammette una soluzione univoca e quindi sono accettabili da un punto di vista teorico un'infinita combinazione di spessori H_1 , H_2 e H_3 ; al fine di scegliere una terna di valori che producano una pavimentazione accettabile dal punto di vista costruttivo, funzionale ed economico, si introducono dei vincoli sugli spessori minimi dei singoli strati.

Il minimo spessore dello strato superficiale (usura+binder) necessario per proteggere lo strato di base si determina calcolandone lo Structural Number SN_1 tramite l'equazione AASHTO, sostituendo il modulo del sottofondo M_R con il modulo resiliente dello strato di base M_{R2} e imponendo che esso debba essere assorbito dal solo strato superficiale:

$$SN_1 = 1,1972 \text{ in}$$

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = 2,784 \text{ in} \cong 7,1 \text{ cm}$$

Si è scelto pertanto uno spessore dello strato usura+binder di **9 cm** in linea con quello già affermato nel predimensionamento. Tale spessore sarà composto da 4cm di usura e 5cm di binder.

Analogamente si procede per lo strato di base, sostituendo il modulo resiliente del sottofondo M_R con il modulo dello strato di fondazione M_{R3} :

$$SN_2 = 3,1357 \text{ in}$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2} = 5,04 \text{ in} \cong 13 \text{ cm}$$

Per lo strato di base si è deciso uno spessore di **13cm**, ovvero 5cm in più rispetto a quello ipotizzato nel predimensionamento.

Lo strato di fondazione deve invece avere uno spessore minimo di:

$$D_3 \geq \frac{SN - a_1 D_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3} = 5,51 \text{ in} \cong 14 \text{ cm}$$

Lo spessore effettivo dello strato di fondazione è stato scelto di **20cm**.

Dall'equazione dello Structural Number si ricava l'effettiva resistenza offerta dalla pavimentazione progettata:

$$SN_f = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = 4,4291 > 4,0473$$

6.0 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

La pavimentazione così dimensionata è stata verificata alla rottura per fatica, applicando la seguente legge:

$$N_f = f_1(\varepsilon_t)^{-f_2}(E)^{-f_3}$$

Dove N_f è il numero di ripetizioni di carico consentiti per evitare la rottura per fatica; E è il modulo elastico dello strato di binder in conglomerato bituminoso; ε_t è la deformazione a trazione misurata all'interfaccia fra binder e base; per le costanti f_1 , f_2 , f_3 la Shell suggerisce di usare rispettivamente i seguenti valori: 0,0685, 5,671 e 2,363.

Il danno è stato calcolato come il rapporto fra il numero di ripetizioni di carico effettivo e l' N_f (legge di Miner).

Per la verifica del sottofondo la legge utilizzata è la seguente:

$$N_d = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5}$$

Dove N_d è il numero di ripetizioni di carico per limitare la deformazione permanente; ε_c è la deformazione a compressione del sottofondo, misurata all'interfaccia con lo strato di fondazione; per le costanti f_4 , f_5 la Shell indica rispettivamente i seguenti valori: $6,15 \cdot 10^{-7}$ e 4,00.

Inoltre, affinché sia evitata la formazione di ormaie, la massima sollecitazione verticale è legata al numero N di ripetizioni di carico ed al modulo E del sottofondo, attraverso la seguente relazione di Kerhoven-Dormon:

$$\sigma_{zz} = \frac{0,006 E}{1 + 0,7 \log N}$$

Anche in questo caso il danno è stato calcolato applicando la legge di Miner.

Tramite il software di calcolo per le pavimentazioni KENPAVE, basato sulla teoria del multistrato elastico, sono state calcolate le deformazioni e sollecitazioni dei vari strati. I dati di input richiesti dal programma sono gli spessori degli strati, il modulo elastico e il coefficiente di Poisson per ogni strato, e il carico, introdotto tramite la pressione di gonfiaggio dello pneumatico e il raggio di impronta circolare di quest'ultimo.

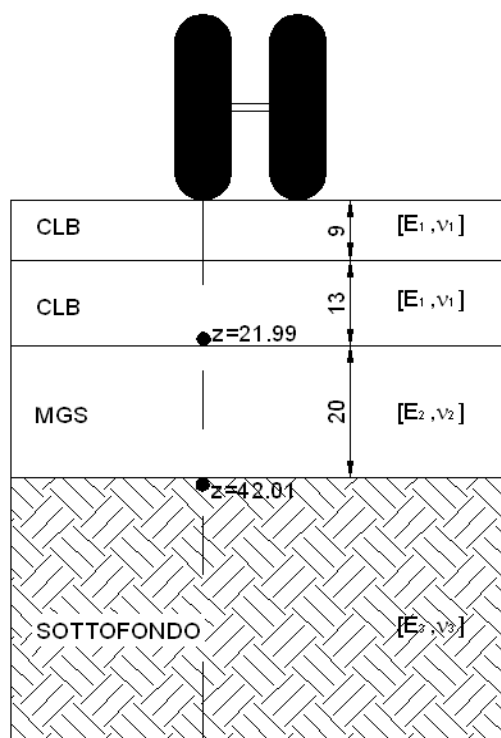
Considerando le caratteristiche dei materiali riportate in tabella 5 e una temperatura di riferimento di 20°C, è stata effettuata l'analisi per ogni tipo di veicolo appartenente allo spettro di traffico.

Tabella 5- Caratteristiche dei materiali

STRATO	Spessore [cm]	Modulo E [Mpa]	Coeff. Poisson
Conglomerato Bituminoso	22	3000	0,35
Fondazione in MGS	20	350	0,35
Sottofondo		46	0,35

Gli spessori della pavimentazione così dimensionata non sono risultati soddisfacenti per tali verifiche.

Di seguito si riportano uno schema rappresentativo della stratigrafia, con i punti considerati per la verifica, ed i fogli di output del KENPAVE i risultati ottenuti del calcolo del danno.



asse_g3_fond20.TXT - Blocco note

File Modifica Formato Visualizza ?

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -asse_g3

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 3
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 5 13 20
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,35 0,35 0,35 0,35 0,35
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 8,99 21,99 44,01
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2,500E+06 2 3,000E+06
3 3,000E+06 4 3,500E+05 5 4,600E+04

LOAD GROUP NO. 1 HAS 6 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 15
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 883
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 6
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 125
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 40

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0,000 0,000 2 0,000 20,000
3 125,000 0,000 4 125,000 20,000 5 250,000 0,000 6 250,000 20,000

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE PRINCIPAL STRESS (STRAIN)
1	8,99000 (STRAIN)	0,22702 1,069E-05	672,062 1,122E-04	708,434 1,286E-04	445,995 1,050E-05	475,808 2,392E-05
1	21,99000 (STRAIN)	0,22463 -2,648E-04	155,670 2,926E-04	157,319 2,933E-04	-1067,055 -2,577E-04	-997,421 -2,263E-04
1	44,01000 (STRAIN)	0,21319 -4,217E-04	54,036 1,109E-03	56,383 1,178E-03	1,377 -4,362E-04	4,879 -3,334E-04
2	8,99000 (STRAIN)	0,23023 2,331E-05	183,419 -5,141E-05	615,218 1,429E-04	182,862 -5,166E-05	350,023 2,356E-05
2	21,99000 (STRAIN)	0,22884 -2,641E-04	135,163 2,576E-04	135,267 2,576E-04	-1024,375 -2,642E-04	-797,531 -1,621E-04
2	44,01000 (STRAIN)	0,21715 -4,364E-04	57,134 1,183E-03	58,183 1,214E-03	1,952 -4,364E-04	4,744 -3,544E-04
3	8,99000 (STRAIN)	0,25892 9,017E-06	673,292 1,092E-04	716,061 1,284E-04	450,676 9,018E-06	494,290 2,864E-05
3	21,99000 (STRAIN)	0,25654 -2,496E-04	160,087 2,928E-04	161,673 2,935E-04	-1046,977 -2,504E-04	-1007,071 -2,324E-04
3	44,01000 (STRAIN)	0,24458 -4,601E-04	60,507 1,209E-03	61,917 1,251E-03	2,212 -5,015E-04	10,315 -2,637E-04
4	8,99000 (STRAIN)	0,26266 1,788E-05	184,693 -5,460E-05	649,955 1,548E-04	184,693 -5,460E-05	345,777 1,788E-05
4	21,99000 (STRAIN)	0,26128 -2,407E-04	139,721 2,581E-04	139,721 2,581E-04	-968,665 -2,407E-04	-844,239 -1,847E-04
4	44,01000 (STRAIN)	0,24906 -5,035E-04	63,793 1,287E-03	63,793 1,287E-03	2,795 -5,035E-04	10,364 -2,813E-04
5	8,99000 (STRAIN)	0,22702 1,069E-05	672,062 1,122E-04	708,433 1,286E-04	445,992 1,050E-05	475,813 2,392E-05
5	21,99000 (STRAIN)	0,22463 -2,648E-04	155,670 2,926E-04	157,319 2,933E-04	-1067,054 -2,577E-04	-997,423 -2,263E-04
5	44,01000 (STRAIN)	0,21319 -4,217E-04	54,036 1,109E-03	56,383 1,178E-03	1,377 -4,362E-04	4,879 -3,334E-04
6	8,99000 (STRAIN)	0,23023 2,331E-05	183,419 -5,141E-05	615,218 1,429E-04	182,862 -5,166E-05	350,023 2,356E-05
6	21,99000 (STRAIN)	0,22884 -2,641E-04	135,163 2,576E-04	135,267 2,576E-04	-1024,375 -2,642E-04	-797,530 -1,621E-04
6	44,01000 (STRAIN)	0,21715 -4,364E-04	57,134 1,183E-03	58,183 1,214E-03	1,952 -4,364E-04	4,744 -3,544E-04

Tabella 6- Verifica strati in conglomerato bituminoso Z=21,99cm

Legge di fatica	f_1	f_2	f_3	ϵ_t	E [psi]	N_f passaggi limite	Danno a fatica
Shell	0,0685	5,671	2,363	2,64E-04	435113,2131	635173,57	0,24772

Tabella 7- Verifica sottofondo Z=44,01cm

Legge di fatica	f_4	f_5	ϵ_c	N_d passaggi limite	Danno a fatica
Shell	6,15E-07	4	1,29E-03	224161,45	0,70192

Legge di fatica	σ [Mpa]	passaggi limite	Danno a fatica
Kerhoven Dormon	0,0638	25177183,65	0,00625

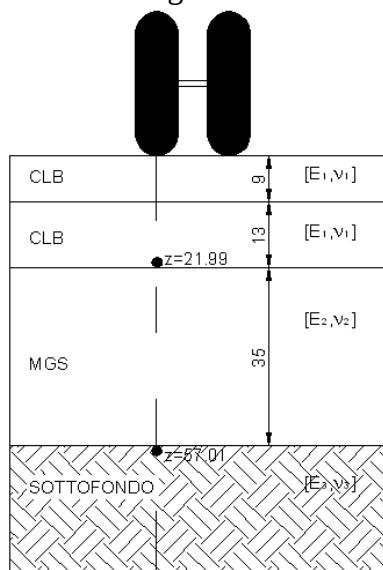
I valori sopra riportati fanno riferimento al passaggio del mezzo più pesante dello spettro di traffico, ovvero i mezzi d'opera con asse tridem da 130 kN, a cui è attribuito un numero di passaggi durante la vita utile di 157343.

Come si nota dalla Tabella 7 nella verifica del sottofondo il danno risulta essere di circa 0,7. Tale valore si ritiene troppo alto se si considera che a questo risultato di danno a fatica devono essere sommati tutti quelli relativi alle altre componenti dello spettro di traffico e tale somma deve essere inferiore a 1.

Pertanto, con l'obiettivo di avere soddisfatta la verifica a fatica del sottofondo, si è ottimizzato lo spessore della fondazione con progressivi incrementi dello stesso sino all'esito positivo della verifica. Lo spessore della fondazione che soddisfa la verifica è 35cm.

Si riportano uno schema rappresentativo della stratigrafia, con i punti considerati per la verifica ed i risultati ottenuti dal KENPAVE dovuti sempre all'applicazione del carico più pesante (asse tridem da 130kN).

Con questa nuova configurazione stratigrafica il valore del danno risulta verificato.



asse_g3.TXT - Blocco note						
File Modifica Formato Visualizza ?						
NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1						
TITLE -asse_g3						
MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM						
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED						
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1						
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1						
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0						
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 5						
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 3						
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 5 13 35						
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,35 0,35 0,35 0,35 0,35						
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 8,99 21,99 57,01						
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED						
FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 2,500E+06 2 3,000E+06						
3 3,000E+06 4 3,500E+05 5 4,600E+04						
LOAD GROUP NO. 1 HAS 6 CONTACT AREAS						
CONTACT RADIUS (CR)----- = 15						
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 883						
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 6						
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 125						
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 40						
RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0,000 0,000 2 0,000 20,000						
3 125,000 0,000 4 125,000 20,000 5 250,000 0,000 6 250,000 20,000						
PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1						
POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPL. (HORIZONTAL P. STRAIN)	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE PRINCIPAL STRESS (STRAIN)
1	8,99000 (STRAIN)	0,20535 6,159E-06	680,441 1,186E-04	704,700 1,296E-04	432,181 6,923E-06	470,761 2,428E-05
1	21,99000 (STRAIN)	0,20313 -2,286E-04	182,046 2,572E-04	183,968 2,581E-04	-892,513 -2,263E-04	-794,027 -1,820E-04
1	57,01000 (STRAIN)	0,18974 -3,601E-04	41,973 8,769E-04	44,077 9,386E-04	-0,512 -3,699E-04	3,082 -2,645E-04
2	8,99000 (STRAIN)	0,20757 1,768E-05	193,123 -4,361E-05	596,250 1,378E-04	192,385 -4,394E-05	330,046 1,801E-05
2	21,99000 (STRAIN)	0,20637 -2,337E-04	165,280 2,189E-04	165,505 2,190E-04	-840,751 <u>-2,338E-04</u>	-563,850 -1,092E-04
2	57,01000 (STRAIN)	0,19260 -3,785E-04	44,327 9,350E-04	45,516 9,699E-04	-0,432 -3,785E-04	3,001 -2,778E-04
3	8,99000 (STRAIN)	0,23268 8,156E-06	681,109 1,133E-04	710,422 1,265E-04	447,490 8,156E-06	498,209 3,098E-05
3	21,99000 (STRAIN)	0,23049 -2,116E-04	184,756 2,571E-04	186,575 2,580E-04	-856,889 -2,116E-04	-821,099 -1,955E-04
3	57,01000 (STRAIN)	0,21635 -4,018E-04	47,806 9,805E-04	48,796 1,010E-03	-0,284 -4,309E-04	7,020 -2,165E-04
4	8,99000 (STRAIN)	0,23530 1,655E-05	193,813 -4,914E-05	635,172 1,495E-04	193,813 -4,914E-05	339,797 1,655E-05
4	21,99000 (STRAIN)	0,23414 -2,188E-04	168,063 2,189E-04	168,063 2,189E-04	-804,729 -2,188E-04	-591,661 -1,229E-04
4	57,01000 (STRAIN)	0,21959 -4,413E-04	<u>50,301</u> <u>1,042E-03</u>	50,301 1,042E-03	-0,224 -4,413E-04	7,054 -2,277E-04
5	8,99000 (STRAIN)	0,20535 6,159E-06	680,441 1,186E-04	704,700 1,296E-04	432,178 6,922E-06	470,765 2,429E-05
5	21,99000 (STRAIN)	0,20313 -2,286E-04	182,046 2,572E-04	183,968 2,581E-04	-892,513 -2,263E-04	-794,027 -1,820E-04
5	57,01000 (STRAIN)	0,18974 -3,601E-04	41,973 8,769E-04	44,077 9,386E-04	-0,512 -3,699E-04	3,082 -2,645E-04
6	8,99000 (STRAIN)	0,20757 1,768E-05	193,123 -4,361E-05	596,250 1,378E-04	192,385 -4,394E-05	330,046 1,801E-05
6	21,99000 (STRAIN)	0,20637 -2,337E-04	165,280 2,189E-04	165,505 2,190E-04	-840,750 -2,338E-04	-563,850 -1,092E-04
6	57,01000 (STRAIN)	0,19260 -3,785E-04	44,327 9,350E-04	45,516 9,699E-04	-0,432 -3,785E-04	3,001 -2,778E-04

Tabella 8- Verifica strati in conglomerato bituminoso Z=21,99cm

Legge di fatica	f_1	f_2	f_3	ϵ_t	E [psi]	N_f passaggi limite	Danno a fatica
Shell	0,0685	5,671	2,363	2,34E-04	435113,21	1270445,985	0,12385

Tabella 9- Verifica sottofondo Z=57,01cm

Legge di fatica	f_4	f_5	ϵ_c	N_d passaggi limite	Danno a fatica
Shell	6,15E-07	4	1,04E-03	521680,06	0,30161

Legge di fatica	σ [Mpa]	passaggi limite	Danno a fatica
Kerhoven Dormon	0,0503	2570129,038	0,06122

In definitiva la pavimentazione avrà la seguente composizione strutturale:

- Strato di usura in conglomerato bituminoso, s=4cm;
- Strato di binder in conglomerato bituminoso, s=5cm;
- Strato di base in conglomerato bituminoso, s=13cm;
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato, s=35cm.