



**PROVINCIA
DI CHIETI**

PROVINCIA DI CHIETI

SETTORE 6 - PIANIFICAZIONE,
PROGETTAZIONE E MANUTENZIONE
STRADALE

Via Discesa delle Carceri 1, 66032 Chieti
www.provincia.chieti.it

**LAVORI DI SISTEMAZIONE STRADA PROVINCIALE
N. 107 PELIGNA CASOLI-GESSOPALENA 4^A LOTTO**

PROGETTO ESECUTIVO

RIFERIMENTO ELABORATO

A.13

**RELAZIONE DI CALCOLO
DELLA PAVIMENTAZIONE**

PROT. n°

SCALA: VARIE

DATA: 20/09/2015

CL.

revisione

data

descrizione

DEL

FASC.

SUB

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO:

STUDIO MONTEPARA
INGEGNERIA CIVILE

Prof. Ing. Antonio Montepara
Via V. Simeoni n° 12
66036 Orsogna (CH)
Tel. 0871/869652
email: info@studiomontepara.it

Aerre
P&L
engineering

SEDE LEGALE
Strada Cavagnari, 10
43100 Parma
Tel. 0521/986776

Ing. LUCA GALLICANI

TIMBRO E FIRMA

TIMBRO E FIRMA

TIMBRO E FIRMA

Questo elaborato non puo' essere riprodotto ne' integralmente, ne' in parte per scopi diversi da quelli per cui e' stato fornito.



SETTORE 6 - PIANIFICAZIONE, PROGETTAZIONE E MANUTENZIONE STRADALE

LAVORI DI SISTEMAZIONE STRADA PROVINCIALE N. 107 PELIGNA CASOLI – GESSOPALENA – 4^ LOTTO

PROGETTO ESECUTIVO

CALCOLO PAVIMENTAZIONE

INTRODUZIONE

La presente relazione di calcolo è relativa al dimensionamento della pavimentazione della strada provinciale n.107 Peligna - tratto Gessopalena – Casoli - IV lotto funzionale.

La tipologia scelta è del tipo “flessibile” costituita da uno strato di fondazione in misto di montagna, uno strato di base in misto granulometrico stabilizzato, uno strato di binder ed uno di usura in conglomerato bituminoso.

Il calcolo è stato eseguito con il metodo “razionale” in alternativa ai metodi semiempirici (Road Note 29 – AASHO Interim Guide) e al catalogo delle pavimentazioni predisposto dal C.N.R., che per loro natura non sono idonei al tipo di intervento che occorre eseguire.

In particolare il calcolo del multistrato è stato effettuato con il software BISAR, sviluppato dalla Shell Research, e ampiamente diffuso ed applicato anche in Italia.

Per il dimensionamento degli strati costituenti la sovrastruttura occorre conoscere le caratteristiche meccaniche del terreno di sottofondo. Di seguito si riportano dapprima le caratteristiche dei terreni interessati dall’infrastruttura viaria, dopodiché si illustra il calcolo della pavimentazione.

1. INDAGINE GEOLOGICA

L'indagine eseguita dal Geologo Dott. Domenico Pellicciotta fornisce le seguenti informazioni in merito alla stratigrafia ed alle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno:

- Tracciato stradale -

Da quota 0.00 a quota -0.5 m pavimentazione esistente o terreno vegetale	
Da quota -0.5 a quota -10 m Argille varicolori.	Peso volume $\gamma = 1.9 \div 2.1$ T/mc Angolo attrito $\phi = 20^\circ \div 21^\circ$ Indice di consistenza $I_c = 0.8 \div 1.2$ Coesione non drenata $c_u = 0.6 \div 0.7$ Kg/cm ²

2. TRAFFICO DI PROGETTO

Per un dimensionamento razionale della pavimentazione si dovrebbe conoscere il traffico che in futuro interesserà l'infrastruttura. Non potendo disporre di tale valore del flusso veicolare si utilizza come dato per il dimensionamento, il valore del volume di traffico che attualmente interessa il tratto stradale.

Dall'analisi eseguita a campione su alcuni giorni feriali, si è ricavato un flusso orario medio diurno, valevole per le 12 ore diurne, mentre per il flusso medio notturno si è assunto un valore pari ad 1/3 di quello diurno.

Il rilievo e la successiva elaborazione numerica ha permesso di ricavare il valore del traffico giornaliero medio T.G.M.

Tab. 2.1

Tipo di veicolo*	T.G.M.	Carico Utile (t)	Carico Totale (t)
1 Moto	34	=	=
2 Autovetture	2340	=	=
3 Furgoni < 3000 Kg	28	1-2	Max 3
4 Autocarri > 3000 Kg	56	9	15.5
5 Autocarri con rimorchio	6	33	46.2
6 Trattori con rimorchio	11	30	42.5
7 Autobus	2		6
8 Veicoli Speciali	-		illimitato
9 Veicoli Agricoli	34	-	-

(*) per il tipo di veicolo si fa riferimento alla numerazione delle schede di censimento A.N.A.S.

I valori sono relativi ad un solo anno, per tenere in debito conto l'evoluzione del traffico nel tempo si è incrementato il T.G.M. di una quantità pari al 10%.

Per il dimensionamento della pavimentazione occorre conoscere il numero di assi standard, pertanto occorre trasformare il numero di passaggi di veicoli in passaggi di assi standard.

Per il calcolo si fa riferimento ad un asse standard con carico da 100 KN e come veicolo pesante, che genera fatica nelle pavimentazioni, quello con una portata non inferiore a 50 KN.

Pertanto il valore di T.G.M. che ai fini della fatica interessa la pavimentazione risulta essere pari a:

Tab. 2.2

Tipo di veicolo	Carico su asse				Numero veicoli
	Asse 1	Asse 2	Asse 3	Asse 4	
1-2-3-9	< 5	< 5	< 5	< 5	2680
4	5.5	10	=	=	62
5	8.2	12	12	12	7
6	7.5	11	12	12	12
7	4	8	=	=	2
8	8.2	12	13	13+13	=

Dalla tabella 2.2. si desume che la quota di T.G.M. con asse di carico superiore a 50 KN (5 Ton) che circola sul tratto stradale in esame è pari a: T.G.M.= 83 veic/g.

Il valore annuo di traffico pesante sarà pari a: **T.A.M. = 350 x 83 = 29050 veic/anno.**

Per valutare l'effetto prodotto dai diversi assi dei veicoli sulla pavimentazione, ovvero dal danno che ognuno di essi produce nella sovrastruttura, si utilizza il metodo AASHTO che, ai fini del danno a fatica, stabilisce una equivalenza tra le sollecitazioni indotte dal carico generico agente sugli assi dei veicoli in circolazione e quelle di un asse di riferimento, che per il calcolo è stato preso a pari a 10 ton. Tale metodo fornisce dei coefficienti di equivalenza a fatica tra assi reali e asse standard mediante la relazione:

$$F.E. = 10 E^{0.12088 \times (L - L1)}$$

dove:

L = asse generico

L1 = asse standard

Per il veicolo di riferimento considerato i coefficienti risultano:

Tab. 2.1

Carico su asse (t)	Coefficiente Equivalenza Ad asse da 10 t
5.5	0.055315
7.5	0.178050
8	0.277940
8.2	0.293851
10	1
11	1.744857
12	3.309665

Nota il numero di veicoli che annualmente transitano, tramite i coefficienti di equivalenza è possibile conoscere il numero annuo di assi standard:

Tab. 2.4

Tipo di veicolo	Fattore equiv. per asse				Fattore equiv. totale per veicolo
	Asse 1	Asse 2	Asse 3	Asse 4	
4	0.0553	1	=	=	1.0553
5	0.2938	3.3096	3.3096	3.3096	10.2228
6	0.1780	1.7448	3.3096	3.3096	8.5422
7	0	0.2779	=	=	0.2779

In base al numero di veicoli per ogni tipo (Tab. 2.2) ed ai coefficienti di equivalenza per ogni tipo di asse (Tab. 2.4) si calcola il traffico annuo equivalente per un asse standard da 10 Tonn.

Tab. 2.5

Tipo di veicolo	Fattore equivalenza Totale	T.M.A.	
		veicoli	Assi equival.
1-2-3-9	=	938000	=
4	1.0553	21700	22900
5	10.2228	2450	25045
6	8.5422	4200	35877
7	0.2779	700	194
TOTALE PASSAGGI ASSI STANDARD DA 10 Tonn ANNUI			84.016

Il totale dei passaggi di assi standard da 10 ton durante la vita utile dell'infrastruttura, considerata pari a 20 anni è pari a: $N_{20} = 84016 \times 20 = \mathbf{1.680.320}$

4. I MATERIALI PER LA SOVRASTRUTTURA

Sulla base della tipologia di traffico che interagisce con l'infrastruttura stradale, occorre realizzare una pavimentazione in grado di resistere ai carichi che transitano e che nel tempo non abbia deformazioni cumulate tali da manifestare ormaimento o sfondamento per fatica.

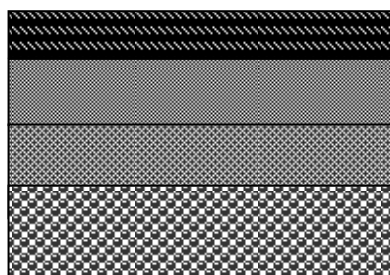
Per rispondere a tali esigenze per la strada in studio si progetta un pacchetto strutturale così composto.

STRATO	MATERIALE
USURA	CONGLOMERATO BITUMINOSO
BINDER	CONGLOMERATO BITUMINOSO
BASE	MISTO GRANULOMETRICO STABILIZZATO
FONDAZIONE	MISTO GRANULOMETRICO

5. PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO

La sovrastruttura di progetto (figura 7.1) risulta essere composta da :

- 3 cm di tappeto di usura
- 6 cm di conglomerato bituminoso (binder)
- 20 cm di misto granulometrico stabilizzato (base)
- 30 cm di misto granulometrico (fondazione)



- usura C.B. 3 cm
- binder C.B. 6 cm
- base misto granulare stabilizzato 20 cm
- fondazione misto granulare 30 cm

Fig. 5.1 Pavimentazione di progetto

6. PARAMETRI DI CALCOLO ASSUNTI

I parametri meccanici dei materiali utilizzati per il calcolo quali i valori dei moduli, dei coefficienti di Poisson e degli spessori di ogni strato componente la sovrastruttura stradale sono riportati nella tabella:

STRATO	SPESSORE cm	MODULO ELASTICO MPa	RAPPORTO POISSON μ
USURA+BINDER	9	3000	0.35
BASE	20	800	0.40
FONDAZIONE	30	500	0.40
SOTTOFONDO	ILLIMITATO	50	0.50

La pavimentazione è stata dimensionata per il caso più sfavorevole in cui poggia direttamente sul terreno di sottofondo per il quale si è assunto un modulo di sottofondo pari a 50MPa.

7. IL PROGETTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI FLESSIBILI

Le pavimentazioni stradali svolgono la funzione di ripartire sul terreno i carichi trasmessi dai veicoli, in particolare da quelli pesanti.

In linea di principio il metodo di progetto di una pavimentazione stradale non differisce sostanzialmente da quello di una qualsiasi altra struttura dell'ingegneria civile: note le caratteristiche meccaniche dei materiali da impiegare ed i carichi trasmessi dai veicoli, la sovrastruttura deve garantire un certo livello di integrità entro la così detta vita utile.

In pratica però la grande variabilità dei materiali che possono essere impiegati, la difficoltà di definire compiutamente il danno subito e i livelli di carico, rendono il problema estremamente complesso.

Due sono i punti fondamentali che distinguono il progetto di una pavimentazione stradale da quello di una qualsiasi altra struttura civile:

1. la difficoltà di individuare la natura e le caratteristiche intrinseche dei materiali impiegati, estremamente variabili con le condizioni climatiche e con la modalità di applicazione dei carichi;
2. il trascurare gli effetti prodotti dal peso proprio, in quanto la loro incidenza sullo stato tenso-deformativo è minimo rispetto a quella dei carichi accidentali (veicoli) e delle condizioni ambientali (temperatura ed umidità);

Le moderne tecniche numeriche, basate sull'applicazione della teoria degli elementi finiti, consentono di ricostruire al calcolatore un modello teorico della pavimentazione, costituita dalla sovrapposizione di differenti strati di conglomerato bituminoso, approssimando in modo più fedele possibile il suo comportamento reale. Tale algoritmo rientra tra i "metodi razionali" per il calcolo delle pavimentazioni flessibili che negli ultimi anni hanno sostituito i "metodi empirici" basati invece sull'osservazione diretta di tronchi stradali sperimentali.

I metodi fondati su una valutazione "razionale", cioè "per via di calcolo", si basano sullo studio del comportamento tenso-deformativo dei vari strati della pavimentazione attraverso cui si procede:

1. alla verifica del danno da fatica accumulato nei vari strati durante la vita utile della pavimentazione (legge di Miner);
2. alla verifica della profondità delle ormaie prodotte al termine della vita utile, le quali non devono superare il limite di tollerabilità per la funzionalità e la sicurezza del piano viabile.

Si comprende, quindi, che è inevitabile associare ad ogni pavimentazione stradale, sottoposta ad un certo traffico, il concetto di vita utile, cioè di quel periodo di tempo al di là del quale la degradazione da essa subita ne rende necessario il rifacimento.

Si evidenzia che la vita utile della pavimentazione non esclude la necessità di interventi manutentivi non strutturali relativi al ripristino delle condizioni superficiali di regolarità ed aderenza.

8. IL DIMENSIONAMENTO SOVRASTRUTTURALE CON METODO RAZIONALE

Il processo progettuale per il dimensionamento strutturale di una pavimentazione stradale si basa principalmente su cinque passaggi:

- la definizione preliminare degli spessori di ogni singolo strato;
- la scelta dei materiali di impiego;
- la conoscenza dei dati di traffico e delle condizioni climatiche di esercizio;
- il calcolo delle tensioni indotte dall'applicazione dei carichi;
- l'applicazione degli appropriati criteri di verifica.

In particolare la durata di una pavimentazione viene correlata al numero massimo di passaggi dell'asse standard che è in grado di sopportare prima di raggiungere il collasso strutturale.

Nota pertanto la classe di traffico assunta come riferimento, si determinerà il relativo stato tenso-deformativo indotto risolvendo la sovrastruttura tramite modelli di calcolo. Il massimo valore della deformazione orizzontale di trazione alla base degli strati legati sarà quindi utilizzato come dato di input per determinare, dalle curve di fatica, il numero massimo di cicli sopportabili dalla pavimentazione.

Sperimentalmente è stato dimostrato che tale operazione risulta cautelativa in quanto le curve di fatica determinate in laboratorio, o gli eventuali fattori di traslazione laboratorio-sito, sottovalutano il fenomeno del recupero (autoriparazione).

Tenuto conto che le proprietà meccaniche dei conglomerati bituminosi si modificano sensibilmente al variare della temperatura, tale operazione deve essere ripetuta per ciascun periodo dell'anno (stagione, mese, ecc.) a cui si associa una stessa temperatura media dell'aria.

In particolare, sulla base delle temperature medie mensili dell'aria ricavate dalla stazione meteo più vicina alla zona interessata dal progetto, si può risalire alla temperatura del conglomerato bituminoso alla profondità z (espressa in centimetri) secondo la nota formula introdotta di Witczak:

$$T_z = (1,467 + 0,043 \cdot z) + (1,362 - 0,005 \cdot z) \cdot T_a$$

dove T_z è la temperatura alla profondità z e T_a è la temperatura media dell'aria.

Ammettendo una ripartizione del traffico proporzionale nei giorni dell'anno di ciascun periodo

(stagione, mese, ecc.), sarà possibile determinare il numero totale dei passaggi dell'asse standard che produce la rottura per fatica della pavimentazione sfruttando la legge di Miner, meglio nota come la legge "di accumulo lineare del danno da fatica".

La legge di Miner può essere enunciata nel modo seguente:

"Se $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k$ sono le ampiezze delle deformazioni corrispondenti rispettivamente ad n_1, n_2, \dots, n_k cicli di carico applicati ad un materiale senza alcun ordine particolare, si produce la rottura per fatica quando la seguente disequazione è verificata con il segno di uguaglianza:

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} \leq 1$$

dove N_i è il numero di cicli di deformazione che porterebbe a rottura il materiale qualora l'ampiezza di deformazione fosse mantenuta costante pari a ε_i .

Supposto di aver risolto la struttura per un numero di periodi dell'anno pari a k determinando altrettante coppie di valori (\square_i, N_i), l'equazione che consentirà di determinare il numero N_x di passaggi dell'asse standard che porta al collasso per fatica la pavimentazione sarà la seguente:

$$\sum_{i=1}^k \frac{\left(\frac{N_x}{k}\right)}{N_i} = 1$$

Una volta individuato il numero totale N_x dei passaggi riferiti all'asse standard che la pavimentazione può sopportare, la determinazione della vita utile espressa in anni è calcolata dividendo tale valore N_x per la popolazione dei veicoli annui in assi standard equivalenti.

Nel caso si decida di suddividere l'anno in quattro periodi corrispondenti alle quattro stagioni, la determinazione del numero massimo di passaggi dell'asse standard assume la seguente espressione:

$$N_{tot} = \frac{4N_{tot1} \cdot N_{tot2} \cdot N_{tot3} \cdot N_{tot4}}{N_{tot2}N_{tot3}N_{tot4} + N_{tot1}N_{tot3}N_{tot4} + N_{tot1}N_{tot2}N_{tot4} + N_{tot1}N_{tot2}N_{tot3}}$$

9. VERIFICA DEI MATERIALI

9.1 LEGGE DI FATICA ASSUNTA PER MATERIALI LEGATI A BITUME

La legge di fatica impiegata per l'analisi dei materiali legati a bitume è la legge di Finn.

La procedura che ha portato ad ottenere i modelli di fatica più utilizzati, tra cui il modello di Finn, è quella di determinare le prestazioni a fatica del materiale in laboratorio, per poi, attraverso opportuni fattori di traslazione, ottenere risultati compatibile con il comportamento in esercizio.

La legge di Finn può essere espressa come:

$$N_t = 10^{-3.083} \cdot \varepsilon_t^{-3.291} \cdot E^{-0.854}$$

dove:

N_t = è il numero di cicli di applicazione del carico, riferito all'asse standard considerato, che causa la fessurazione del 10% della superficie stradale.

ϵ_t = è la deformazione orizzontale di trazione massima alla base degli strati legati a bitume riferita all'inizio della vita della pavimentazione.

E = è il modulo complesso (espresso in MPa) dello strato più profondo in conglomerato bituminoso riferito alla temperatura effettiva dello strato stesso.

9.1 VERIFICA DEI MATERIALI NON LEGATI

La natura ciclica dei carichi che transitano sulla superficie stradale è tale da produrre sulla sommità del terreno di sottofondo delle tensioni verticali σ_z che possono creare avvallamenti sul piano viabile per effetto di accumulo di deformazioni plastiche ϵ_z . Tale evenienza è tanto più probabile quanto più elevato è il livello tenso-deformativo trasferito dalla sovrastruttura.

Per i sottofondi, è necessario quindi controllare che la massima tensione verticale σ_z , la quale non deve essere superata affinché, a causa del sommarsi di cedimenti plastici, non si producano ormaie nella pavimentazione (Ferrari-Giannini "Ingegneria stradale Vol. II - Corpo stradale e pavimentazioni"). Tale valore è legato al numero di ricezioni di carico N e al modulo E_d nel seguente modo:

$$\sigma_z = \frac{0.006 \cdot E_d}{1 + 0.7 \cdot \log N}$$

Nel caso in esame,

$$E_d = E + 70 \text{ MPa} = 60 + 70 = 130 \text{ MPa}$$

$N_{20} = 9$ milioni di passaggi di assi da 120 kN

$$\sigma_z = 0.13 \text{ MPa} > \sigma_{z\text{-MASSIMA}}$$

Seguendo lo stesso fine, un ulteriore controllo invece da effettuare per gli strati non legati, si basa sulla verifica dello stato tensionale di compressione verticale che, a seconda dei materiali, dovrà rispettare la seguente relazione:

$$\sigma_{z(\text{max})} \leq 2 \div 4 \quad \text{Kg / cm}^2$$

10. CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

Per il calcolo delle sovrastrutture proposte si applica un metodo di calcolo di tipo razionale per il quale si considera un multistrato composto da strati con diverse caratteristiche meccaniche poggianti su di un sottofondo. Come carico si considera due ruote gemellate su asse da 100 KN con doppia impronta circolare equivalente di raggio 10,56 cm e interasse 35,32 cm.

Per il calcolo delle sollecitazioni e delle deformazioni indotte nella pavimentazione si utilizza il codice di calcolo “Bisar” della Koninklijke/Shell-Laboratorium Amsterdam che consente di determinare lo stato di tensione e di deformazione in ogni punto della sovrastruttura e del sottofondo per qualsiasi condizione di carico.

Il metodo si basa sull'ipotesi di omogeneità, isotropia ed elasticità lineare di ogni strato. La pavimentazione è schematizzata come una serie di strati orizzontali sovrapposti, indefiniti in pianta e di spessore costante. Ogni strato è caratterizzato dal modulo di elasticità e dal coefficiente di Poisson.

Gli strati sono appoggiati sul sottofondo schematizzato come un semispazio indefinito, anche esso omogeneo, elastico, isotropo. Si considera che lungo il piano di separazione fra due strati vi sia completa solidarietà per cui fra due strati vi sia completa solidarietà per cui non esiste uno scorrimento relativo.

Si assumono per i carichi di traffico agenti sulla pavimentazione solo quelli verticali trasmessi dalle ruote dei veicoli, che si ritengono uniformemente distribuiti su superfici circolari equivalenti, con pressione pari a quella di gonfiaggio dei pneumatici; non si considerano le azioni tangenziali che si esplicano nelle fasi inerziali.

Nel calcolo caso si è esplorata sia la verticale (Z) che passa per il centro dell'asse di collegamento (X) delle aree di carico delle due ruote gemellate sia quella che passa per il centro della singola ruota.

Nel seguito sono state calcolate le deflessioni per diversi spessori di strati delle tre sovrastrutture considerate.

I valori medi di E e μ sono desunti dal testo "G. Tesoriere: Costruzioni di Strade Ferrovie e Aeroporti - Progetto e Costruzioni di Strade. Vol. 2 - Ed. UTET 1987".

Il raggio dell'impronta (10,66 cm) deriva dall'uso di considerare l'interasse fra i centri delle impronte pari a 35,32 cm e del valore di 14 cm, imposta dalla normativa, come distanza fra i bordi delle impronte.

11. IL SOFTWARE BISAR

Il software BISAR, sviluppato dalla Shell Research, permette di calcolare le tensioni, le deformazioni e gli spostamenti in ogni punto di un sistema a multistrato elastico sottoposto a uno o più carichi uniformemente distribuiti su di un'impronta circolare.

Il sistema di riferimento è formato da piani orizzontali di spessore uniforme, infinitamente estesi in direzione orizzontale, composti da materiali isotropi, linearmente elastici ed omogenei. L'unica eccezione è lo stato di sottofondo che è considerato un semi-spazio infinitamente profondo.

I dati basilari di input richiesti dal software BISAR possono essere sintetizzati in tre schermate principali:

- numero ed entità dei carichi (fig. 11.1)
- numero e spessore degli strati (eccetto il sottofondo perché considerato un semispazio),
- moduli di Young e coefficiente di Poisson di ogni strato (fig. 11.2)
- coordinate dei punti dove si vuole verificare lo stato tensionale (fig. 11.3)

System Description: **Progetto Gessopalena**

Use Standard Dual Wheel?

Mode of Load: **2 - Load and Radius** No of Circular Loads (1-10): **2**

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	30.000	0.1050	0.0000	0.1750	0.000	0.0
2	30.000	0.1050	0.0000	-0.1750	0.000	0.0

Fig. 11.1 - Definizione dei carichi applicati.

System Description: **Progetto Gessopalena**

Full Friction Between Layers?

No of Layers (1-10): **4**

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0.080	5.00E+03	0.35
2	0.200	8.00E+02	0.40
3	0.300	5.00E+02	0.40
4		5.00E+01	0.50

Fig. 10.2 - Definizione dei parametri di calcolo

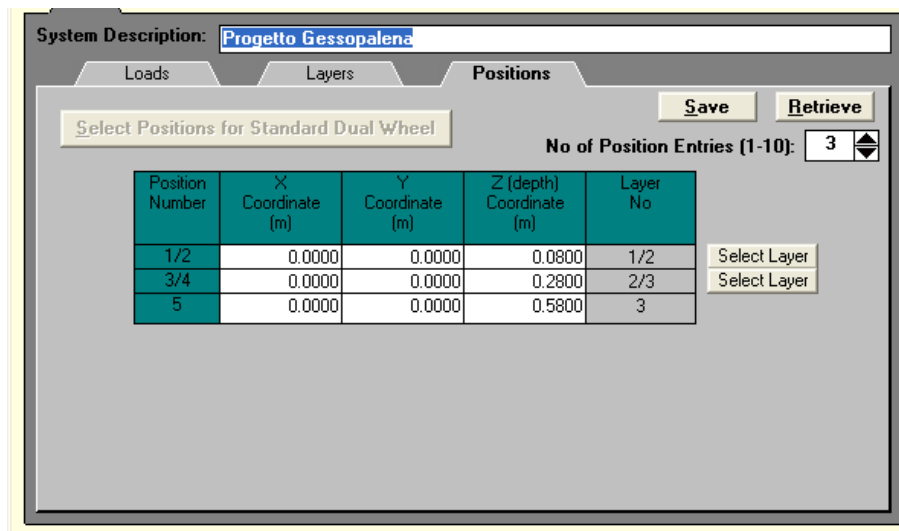


Fig. 10.3 - Definizione dei punti dove calcolare lo stato tenso-deformativo.

Occorre precisare che particolare attenzione è rivolta agli strati in conglomerato bituminoso in quanto la temperatura influenza severamente il comportamento e le prestazioni del materiale. Quindi per tener conto della dipendenza dalla temperatura delle caratteristiche e delle risposte tensionali degli strati legati a bitume, l'analisi strutturale viene effettuata in riferimento alle temperature medie riscontrate nella zona di progetto.

ELABORATO DI CALCOLO

```
****          *****      ***          *          ****          ****          ***
* *          *          * *          * *          * *          * *          * *
* *          *          *          * *          * *          * *          * *
***          *          *          *****      ****          *****      ****          *
* *          *          *          * *          * *          * *          * *          *
* *          *          * *          * *          * *          * *          * *          *
****          *****      ***          *          *          *          *          *          ****
```

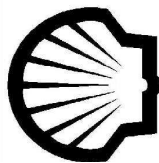
THIS IS A SHELL COMPUTER PROGRAM
DEVELOPED FOR USE ON A PERSONAL COMPUTER
by
Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam; BITUMEN department

This "BISAR-PC" program is licensed from SHELL.

All rights are reserved. Use, copying or storage of
this program by unauthorized persons is prohibited.

(Version 1987; Release R 1.0)

BISAR 3.0 - Block Report
Progetto Gessopalena
System 1: Progetto Gessopalena



Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0.080	5.000E+03	0.35	1	3.000E+01	8.661E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.050E-01	0.000E+00	1.750E-01	0.000E+00
2	0.200	8.000E+02	0.40	2	3.000E+01	8.661E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.050E-01	0.000E+00	-1.750E-01	0.000E+00
3	0.300	5.000E+02	0.40									
4		5.000E+01	0.50									

Loads

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)			Strains (µstrain)			Displacements (µm)		
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
1	1	0.000E+00	0.000E+00	8.000E-02	3.030E-01	-5.008E-01	-1.729E-01	1.078E+02	-1.093E+02	-2.074E+01	0.000E+00	0.000E+00	5.155E+02
2	2	0.000E+00	0.000E+00	8.000E-02	-5.428E-02	-1.783E-01	-1.729E-01	1.078E+02	-1.093E+02	-9.987E+01	0.000E+00	0.000E+00	5.155E+02
3	2	0.000E+00	0.000E+00	2.800E-01	9.144E-02	5.112E-02	-1.001E-01	1.388E+02	6.822E+01	-1.964E+02	0.000E+00	0.000E+00	4.815E+02
4	3	0.000E+00	0.000E+00	2.800E-01	3.213E-02	6.932E-03	-1.001E-01	1.388E+02	6.822E+01	-2.314E+02	0.000E+00	0.000E+00	4.815E+02
5	3	0.000E+00	0.000E+00	5.800E-01	1.129E-01	1.047E-01	-1.738E-02	1.560E+02	1.330E+02	-2.089E+02	0.000E+00	0.000E+00	4.251E+02

12. ANALISI DEI RISULTATI

Coerentemente con i criteri di calcolo descritti nei precedenti paragrafi e in relazione ai parametri assunti per la pavimentazione di progetto, sono state eseguite le opportune verifiche degli strati legati a bitume, della fondazione in misto granulometrico e del sottofondo. Nelle tabella sono riassunti i risultati di calcolo.

Dall'elaborato di calcolo si ricava:

Abbassamento max in mezzeria delle impronte	0.16 mm
Deformazioni relative all'interfaccia 1/2 $\epsilon_{xx,yy}$	- 1.093 E-4
Deformazioni relative all'interfaccia 3/4 ϵ_{zz}	2.089 E-4

(- indica deformazione dovuta a trazione)

Tensione alla sommità sottofondo σ_{zz}	0.0173 MPa
--	------------

Dall'analisi delle deformazioni si evince come la sovrastruttura calcolata presenta deflessioni massime in superficie di molto inferiori al valore limite ammissibile di 0.7 mm, ovvero si ha un'ottima resistenza all'ormaiamento.

Dall'esame degli stati tensionali si vede come:

- a) nel conglomerato bituminoso sono modeste sia la sollecitazione di trazione, pari a 0.01 Mpa, che quella di compressione pari a 0.3 MPa.
- b) Nella base in misto stabilizzato la sollecitazione di trazione è modesta con un valore limite di 0,003MPa
- d) Nel terreno di posa, la sollecitazione di compressione non supera mai 0,017 MPa

13. CALCOLO A FATICA DELLA SOVRASTRUTTURA

Nel seguito viene effettuato, per il traffico pesante considerato, il calcolo a fatica con la determinazione della localizzazione della rottura nei diversi strati della sovrastruttura, così da valutare la vita utile delle pavimentazioni in progetto (per vita utile si intende il periodo di tempo in anni durante il quale non è richiesta manutenzione straordinaria della sovrastruttura).

Per tale calcolo si fa riferimento al metodo sperimentale proposto dalla Società Autostrade s.p.a., nel quale, il parametro limite da prendere in considerazione ai fini della fatica, è la deformazione unitaria relativa fra due strati.

Le relazioni proposte, in termini di deformazione limite di rottura, sono:

- per l'interfaccia 1-2 (usura/base) l'espressione:

$$\epsilon_{xx,yy} = 47.4 \cdot 10^{-4} \times N_1^{-0,234}$$

- per l'interfaccia 3-4 (fondazione/sottofondo) l'espressione:

$$\epsilon_{zz} = 110 \cdot 10^{-4} \times N_2^{-0,202}$$

dove:

$\epsilon_{xx,yy}$ = deformazione unitaria relativa degli strati legati (C.B.) espressa in μs

ϵ_{zz} = deformazione verticale relativa degli strati non legati espressa in μs

N_1 = numero di passaggi di assi standard da 100 KN che porta a fessurazione per fatica lo strato legato

N_2 = numero di passaggi di assi standard da 100 KN che porta a fessurazione per fatica lo strato non legato

Introducendo i valori di deformazione relativa ottenuti con il calcolo, si può calcolare il numero di passaggi di asse standard da 100 KN che produce la rottura a fatica nella pavimentazione:

$\epsilon_{xx,yy}$	N_1
- 1.093 E-4	2,41*10 ⁶

ϵ_{zz}	N_2
2.089 E-4	22,2*10 ⁵

Dal confronto si vede subito che il numero di passaggi di assi standard necessari per la rottura degli strati profondi è notevolmente maggiore di quello richiesto per la rottura degli spessori superficiali, ciò permette di dire che gli interventi di manutenzione durante la vita utile riguardano solo gli strati legati di superficie e non quelli profondi costituenti la struttura portante della strada.

Inoltre facendo il rapporto tra il numero di passaggi di assi standard che producono la rottura della sovrastruttura negli strati legati con il numero di passaggi di assi standard che si prevedono su base annua si può calcolare il periodo in anni durante il quale non sono richiesti interventi strutturali sugli strati legati (usura) della pavimentazione:

$$\mathbf{VITA\ UTILE = Nt / Na}$$

dove:

Numero assi per rottura a fatica Nt

Numero assi standard che transitano in un anno Na

Na	Nt
84.016	22,2*10 ⁵

$$\mathbf{VITA\ UTILE\ DELLA\ SOVRASTRUTTURA = 26,4\ anni}$$

Tale risultato evidenzia che la pavimentazione di progetto non richiede interventi strutturali per un periodo di tempo superiore della normale vita utile di una pavimentazione che in media è presa pari a 20 anni.