



Provincia di Chieti

Settore Lavori Pubblici

PROGETTO COMPLETAMENTO

LAVORI DI SISTEMAZIONE STRADA PROVINCIALE S.S. 650
FONDO VALLE TRIGNO SCHIAVI D'ABRUZZO

III° Lotto Funzionale

CALCOLO PAVIMENTAZIONE

STUDIO MONTEPARA
INGEGNERIA CIVILE

SEDE LEGALE

Via V. Simeoni n° 12
66036 Orsogna (CH)

Tel. 0874/869652

E-mail:

Info@studiomontepara.it

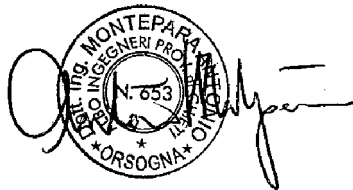
SEDE OPERATIVA

Via Farini n° 80

43100 Parma

Tel. e Fax 0521/905904

Il Progettista
Prof. Ing. Antonio Montepara



ALLEGATO

10

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

Responsabile Unico del Procedimento

127 | E | A | I | A | 10.00 | RO

DATA : 17/03/2014

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
REVO					
REV1					
REV2					



PROVINCIA DI CHIETI

SETTORE LAVORI PUBBLICI

LAVORI DI SISTEMAZIONE STRADA PROVINCIALE
“S.S. 650 FONDO VALLE TRIGNO - SCHIAVI DI ABRUZZO”

III° LOTTO FUNZIONALE

CALCOLO PAVIMENTAZIONE

INTRODUZIONE

La presente relazione di calcolo è relativa al dimensionamento della pavimentazione della strada provinciale S.S. 650 Fondo Valle Trigno - Schiavi di Abruzzo III° 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.

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. Rossetti Ermenegildo 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	
Da quota -0.5 a quota -5 m Argille varicolori.	Peso volume $\gamma = 1.9 \div 2.1$ T/mc Angolo attrito $\phi = 22^\circ \div 28^\circ$ Indice di consistenza $I_c = 0.8 \div 1.2$ Coesione non drenata $c_u = 1.2 \div 3$ 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 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

Noto 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			84016

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 ormaiamento 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. 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.

La pavimentazione è stata dimensionata per il caso più sfavorevole in cui poggia direttamente sul terreno di sottofondo. Le caratteristiche geometriche e meccaniche della sovrastruttura proposta è:

STRATO	SPESSORE cm	MODULO ELASTICO MPa	RAPPORTO POISSON μ
USURA+BINDER	8	3000	0.35
BASE	20	800	0.40
FONDAZIONE	25	300	0.40
SOTTOFONDO	ILLIMITATO	50	0.5

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
SCHIAVI III LOTTO
System 1: PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO

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	0,030	3,000E+03	0,35	1	3,000E+01	8,661E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,050E-01	0,000E+00	-1,575E-01	0,000E+00
2	0,050	4,000E+03	0,35	2	3,000E+01	8,661E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,050E-01	0,000E+00	1,575E-01	0,000E+00
3	0,200	8,000E+02	0,40									
4	0,250	5,000E+02	0,40									
5		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	3,000E-02	-4,118E-01	-3,493E-01	-5,052E-02	-9,062E+01	-6,251E+01	7,136E+01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	2	0,000E+00	0,000E+00	3,000E-02	-5,400E-01	-4,567E-01	-5,053E-02	-9,062E+01	-6,250E+01	7,458E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,716E+02
3	2	0,000E+00	0,000E+00	8,000E-02	2,529E-01	-5,072E-01	-2,229E-01	1,271E+02	-1,294E+02	-3,349E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,724E+02
4	3	0,000E+00	0,000E+00	8,000E-02	-7,687E-02	-2,235E-01	-2,229E-01	1,271E+02	-1,294E+02	-3,349E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,724E+02
5	3	0,000E+00	0,000E+00	2,800E-01	1,118E-01	7,176E-02	-1,098E-01	1,587E+02	8,872E+01	-2,290E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,311E+02
6	4	0,000E+00	0,000E+00	2,800E-01	4,240E-02	1,740E-02	-1,098E-01	1,587E+02	8,872E+01	-2,290E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,311E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	5,300E-01	1,377E-01	1,279E-01	-2,143E-02	1,903E+02	1,627E+02	-2,553E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,746E+02
8	5	0,000E+00	0,000E+00	5,300E-01	-3,320E-03	-4,241E-03	-2,143E-02	1,903E+02	1,627E+02	-2,553E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,746E+02

Dall'elaborato di calcolo si ricava:

Abbassamento max in mezzeria delle impronte	0.25 mm
Deformazioni relative all'interfaccia 1/2 $\epsilon_{xx,yy}$	- 129.4 E ⁻⁶
Deformazioni relative all'interfaccia 3/4 ϵ_{zz}	353 E ⁻⁶

(- indica deformazione dovuta a trazione)

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:

- nel conglomerato bituminoso sono modeste sia la sollecitazione di trazione, pari a 0.50 Mpa, che quella di compressione pari a 0.25 MPa.
- Nella base in misto stabilizzato la sollecitazione di trazione è modesta con un valore limite di 0,04MPa
- Nel terreno di posa, la sollecitazione di compressione non supera mai 0,02 MPa

6. 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:

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

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

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

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

N2 = 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:

$\epsilon_{xx,yy}$	N1
- 129.4 E ⁻⁶	4,82*10 ⁶

ϵ_{zz}	N2
353 E ⁻⁶	247,8*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:

$$\text{VITA UTILE} = N_t / N_a$$

dove:

Numero assi per rottura a fatica N_t

Numero assi standard che transitano in un anno N_a

N_a	N_t
84016	48,2*10 ⁵

VITA UTILE DELLA SOVRASTRUTTURA = 57,3 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.