



S.S. N. 9 "Via Emilia" Variante di Casalpusterlengo ed eliminazione passaggio a livello sulla SP ex S.S. N. 234

PROGETTO DEFINITIVO

CONTRIBUTI SPECIALISTICI

TECNOSTUDIO BIEFFE S.R.L.
VIA MAZZETTI 7
FONTANELLATO (PR)

COMPONENTE STRADALE E STRUTTURALE; SICUREZZA, COORDINAMENTO, FASAGGI DI CANTIERE, MOVIMENTAZIONE DI CAVA; RILIEVI E COMPUTAZIONE

CONSORZIO MUZZA BASSA LODIGIANA
VIA NINO DALL'ORO, 4 - LODI

COMPONENTE IDRAULICA

ARCH. MADDALENA GIOIA GIBELLI
VIA SENATO, 45
MILANO

COMPONENTE PAESAGGISTICA ED AMBIENTALE

P I GIOVANNI PERRI
VIA PRIORATO, 16
FONTANELLATO (PR)

COMPONENTE IMPIANTISTICA, TECNOLOGICA ED ILLUMINOTECNICA

CI.TRA S.R.L.
VIALE LOMBARDA, 5
MILANO,
IN COLLABORAZIONE CON
L.C.E. SRL
VIA DEI PLATANI, 7
OPERA

COMPONENTE TRASPORTISTICA ED ACUSTICA

I PROGETTISTI

Arch. Savino GARILLI PROVINCIA DI LODI
Iscritto all'Ordine degli Architetti della Provincia di Piacenza al n° 280

Ing. Antonio SIMONE COMUNE DI CASALPUSTERLENGO
Iscritto all'ordine degli Ingegneri della provincia di Foggia al n° 1270

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Gianluca CANTARELLI
Iscritto all'Ordine dei Geologi dell' Emilia Romagna al n° 359
via Malpelli, 2
FIDENZA (PR)

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom: Fiorenzo BERGAMASCHI
Iscritto al Collegio dei Geometri della Provincia di Parma al n° 1606
via Mazzetti, 7
FONTANELLATO (PR)

VISTO:IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO
Ing Massimo SIMONINI

DATA

PROTOCOLLO

CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

CODICE PROGETTO

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

D	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI ISTRUTTORIA ANAS				
C	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI CONFERENZA DEI SERVIZI	FEBBRAIO 2011			
B	VERIFICA DI OTTEMPERANZA AL DECRETO VIA	APRILE 2010			
A	PRIMA CONSEGNA PROGETTO	MARZO 2009			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO RESP. TECNICO	CONTROLLATO RESP. D'ITINERARIO	APPROVATO RESP. DI SETTORE

Codice
Elaborato

SA00 1003

Data Revisione:

FEBBRAIO 2011

REV.

C

FOGLIO

01

DI

01

Scala:

ELABORATO DI TESTO

ing. Dimitri ADAMO 11, via Monte Nero 43100 Parma +39 0521 030897 e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it p.i. 02284160344	Documento SA00-1003	Rev. C
	Data FEBBRAIO 2011	Pagina 2/17

CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

ing. Dimitri ADAMO		Documento	Rev.
		SA00-1003	C
1	PREMESSA		4
2	METODO DI CALCOLO	Data	pagina
2.1	Caratteristiche strutturali della pavimentazione	FEBBRAIO 2011	5
2.2	Caratteristiche del sottofondo		8
2.3	Grado di affidabilità del metodo		9
2.4	Decadimento ammissibile della pavimentazione		12
3	STIMA DEL TRAFFICO		13
4	VERIFICHE ASSE PRINCIPALE		15
4.1	Dati di traffico		15
4.2	Dati del pacchetto		16
ALLEGATO: SCHEMA DELLA DISTRIBUZIONE DEGLI ASSI PER TIPO DI VEICOLO			17

1	ing. Dimitri ADAMO Premessa 11, via Monte Nero 43100 Parma 0521/201857 e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it	Documento	Rev.
		SA00-1003	C
Il metodo in questione deriva direttamente dai risultati dell'AASHTO Road Test condotti tra il 1958 ed il 1961; il metodo ha subito nel tempo numerose modifiche e miglioramenti: la prima versione risale al 1961, l'ultima, a cui faremo riferimento, è del 1993 ed ha cambiato denominazione divenendo "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures". Esso consente il calcolo sia delle pavimentazioni cementizie che di quelle flessibili.		Data FEBBRAIO 2011 4/17	Pagina

2 Metodo di calcolo

Il metodo di calcolo è un metodo empirico che permette di ricavare il numero cumulato (W_{18}) di assi standard (ESAL¹) da 8,16 t (18 kip) che una pavimentazione riesce a sopportare prima di raggiungere la fine della vita utile. Il valore W_{18} ottenuto va quindi confrontato con la stima di traffico reale sulla strada in progetto. Il metodo di dimensionamento si fonda sul contributo di 4 fattori che tengono conto dei seguenti aspetti:

1. Caratteristiche strutturali della pavimentazione
2. Caratteristiche del sottofondo
3. Grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento
4. Decadimento limite ammissibile della sovrastruttura (PSI)

L'espressione analitica assunta nell'AASHTO Guide come relazione fondamentale di dimensionamento delle pavimentazioni flessibili e composite è la seguente :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Nei paragrafi che seguono si descrivono dettagliatamente i diversi contributi. Occorre notare che nella formula compare il termine M_r che rappresenta il modulo resiliente del sottofondo. Il modulo resiliente è un parametro caratterizzante i materiali non legati definito come una stima del modulo elastico per applicazioni rapide del carico e viene calcolato tramite la procedura di prova AASHTO T274, oppure con una prova triassiale secondo la procedura AASHTO T292.

Viene definito dal rapporto tra lo sforzo applicato e la deformazione recuperabile assunta. $M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$

Numerose correlazioni sono state proposte legate a tipi di modellizzazione del materiale ma per un livello di approssimazione corrente della progettazione è preferibile utilizzare delle correlazioni dirette con il valore CBR (AASHTO T 193 o ASTM D 1883). Per quanto riguarda la caratterizzazione degli strati legati invece la guida fa riferimento ai moduli elastici dei diversi materiali imponendo un valore minimo di 4.5GPa per strati superficiali.

¹ ESAL = Equivalent Standard Axle Load. Questo rappresenta l'asse standard assunto dall'AASHTO pari a 18 kip (ChiloPound). Poiché **1 Pound = 0.4536 Kg** esso equivale a 18'000 x 0.4536 Kg = 8'164.8 Kg = 81.6 kN

2.1 Caratteristiche strutturali della pavimentazione**SA00-1003****C**

43100 Parma
 0521 410087
 e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it

Nel metodo SN le caratteristiche vengono sintetizzate attraverso un coefficiente convenzionale detto Numero di Struttura SN (*Structural Number*).

Parte
 FEBBRAIO 2011
 5/17

Il coefficiente viene calcolato tramite la formula seguente dove ad ogni strato della pavimentazione di progetto, di spessore D_i ed espresso in pollici [inch], viene assegnato un coefficiente di struttura (a_i) espresso in [inch⁻¹], che rappresenta il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione ed fattore per considerare gli effetti del drenaggio (m_i) adimensionale.:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

Dove lo strato 1 rappresenta lo strato superficiale (in conglomerato bituminoso), lo strato 2 la base legata e lo strato 3 la fondazione non legata.

Qualora gli spessori non venissero espressi in pollici si dovrà applicare un fattore di conversione alla sommatoria, in particolare esprimendoli in centimetri si moltiplicherà per il valore $1/2.54 = 0.03938$

I coefficienti di spessore a_i possono essere ricavati, per gli strati non legati, in funzione delle misure di CBR, attraverso le relazioni:

$$a_i = 0.00645 \cdot CBR^3 - 0.1977 \cdot CBR^2 + 29.14 \cdot CBR \quad \text{base}$$

$$a_i = 0.01 + 0.065 \cdot \log CBR \quad \text{fondazione}$$

In alternativa può essere impiegata una relazione in funzione del modulo resiliente:

$$a_i = a_g \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_g}}$$

dove

a_g = coefficiente di spessore standard secondo l'AASHO Road Test

E_i = modulo resiliente dello strato

E_g = modulo resiliente del materiale standard secondo l'AASHO Road Test

I valori di a_g , E_g sono riportati nella seguente tabella.

Tipo di strato	Coeff. Spessore a_g	Mod. resiliente E_g [MPa]
Congl. bituminoso per strati superficiali	0.44	3100
Base stabilizzata	0.14	207
Fondazione	0.11	104

I coefficienti di drenaggio, d_i sono usati per modificare il valore del coefficiente di spessore a_i di ogni strato non legato al di sopra del sottofondo in una pavimentazione flessibile; questi gli strati in conglomerato bituminoso, o realizzati con materiali legati, non sono influenzati da un eventuale cattivo drenaggio dello strato o dal tempo in cui si trova in condizioni di saturazione. In questi casi il coefficiente di drenaggio vale comunque 1.

Per gli altri strati i coefficienti di drenaggio sono determinati considerando la qualità del drenaggio e il tempo, in percentuale, che la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicino alla saturazione. L'effetto di un efficiente drenaggio è quello di fornire valori elevati di SN e, pertanto, si traduce in una riduzione delle fessurazioni, delle ormaie e delle irregolarità della superficie stradale.

Data FEBBRAIO 2011

Pagina

6/17

Qualità del drenaggio	Tempo di rimozione dell'acqua
Eccellente	2 ore
Buona	1 giorno
Media	1 settimana
Scarsa	1 mese
Molto scarsa	Non rimossa

Qualità del drenaggio	Percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione			
	< 1%	Da 1% a 5%	Da 5% a 25%	> 25%
Eccellente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buona	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Media	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Scarsa	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Molto scarsa	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Poiché il corpo stradale è costituito sempre da un rilevato di altezza almeno 75cm sul piano di campagna bonificato si ritiene che le caratteristiche dello strato di bonifica, con materiale arido provvisto di geotessuto di separazione, siano tali da considerarlo uno strato drenante e quindi i succitati fattori di riduzione possano essere trascurati assumendoli tutti pari all'unità.

Nel caso italiano gli strati superficiali con le prescrizioni capitolari correnti premettono di ottenere dei moduli elastici compresi tra 3.0 e 4.5 GPa, da cui tramite le relazioni suesposte si ottengono valori di ai compresi tra 0.40 e 0.50, confermati anche da valori sperimentali indicati nella Tabella 1.

ing. Dimitri ADAMO			Documento		Rev.	
11, Via Monte Nero 43100 Parma +390521 030897 e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it p.i. 02284160344			Layer Strength Coefficient a_i			Pagina
			TRL (1975)	AASHTO (1993)	Paterson (1987)	
Pavement Layer						7/17
Surface Courses						
Surface Treatment (ST)					0.20-0.40	0.300
Surface Dressing (SSD/IDSD)			0.100			
Premix Carpet (PMC)					0.180	
Semi-Dense Carpet (SDC), 25mm					0.250	
Asphalt Mixture (cold/hot premix of low stability)			0.200		0.200	0.200
Asphalt Concrete (AC), 25 mm			0.180			
Asphalt Concrete (AC), 40/25 mm					0.300	
AC, MR30 = 1500 MPa					0.300	0.300
AC, MR30 = 2500 MPa					0.400	0.400
AC, MR30 = 4000MPa					0.500	0.450
Elastic Mod. at 68°F, E = 100,000 psi				0.200		
Elastic Mod. at 68°F, E = 200000 psi				0.300		
Elastic Mod. al 68°F, E = 300000 psi				0.350		
Elastic Mod. al 68°F, E = 400,000 psi				0.425		
Base Courses						
GB, CBR = 30%			0.070	0.095	0.00-0.07	
GB, CBR = 50%			0.100	0.110	0.00-0.10	
GB, CBR = 70%			0.120	0.125	0.10-0.12	
CBR = 90%			0.135	0.130	0.12-0.13	
CBR = 110%			0.140	0.140	0.140	
Water Bound Macadam(WBM)					0.140	0.140
CB, UCS = 0.7MPa			0.100	0.100	0.100	
CB, UCS = 2.0MPa			0.150	0.140	0.150	
CB, UCS = 3.5MPa			0.200	0.175	0.200	
CB, UCS = 5.0 MPa			0.245	0.205	0.240	
Bituminous Base Material					0.320	
Dense Bituminous Macadam/ Built Up Spray Grout (BUSG)					0.200	
Thin Bituminous Layer, BT					0.160	
AB, Marshall Stability, 200 lb				0.120	0.140	
AB, Marshall Stability, 400 lb				0.160		
AB, Marshall Stability, 800 lb				0.200		
AB, Marshall Stability, 1200 lb				0.240		
Sub-base Courses						
GB, CBR = 5%			0.055	0.040	0.060	
GB, CBR = 15%			0.085	0.090	0.090	
GB, CBR = 25%			0.100	0.100	0.100	
GB, CBR = 50%			0.120	0.130	0.120	
GB, CBR=100%			0.140	0.140	0.140	
Water Bound Macadam, Oversized					0.140	
Brick Soling					0.120	
Brick Ballast Aggregates					0.120	
Local Gravel/ Kankar					0.100	
Cemented Materials					0.140	

Tabella 1
da Chakrabarti and Bennett (1994)

ing. Dimitri ADAMO

2.2 Caratteristiche del sottofondo

Studio Vbc
43100 Parma
Tel. 0521 305119
e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it
#resilite14

Al fine di caratterizzare correttamente le proprietà visco elastiche del sottofondo la guida impiega il parametro σ_{PR} definito modulo resiliente.
Questo modulo è determinabile sperimentalmente tramite la procedura di prova AASHTO T274, la guida suggerisce altrimenti di utilizzare una correlazione proposta da Heukelom e Klomp con il valore CBR:

Documento	Rev.
SA00-1003	C
DATA	8/17
FEBBRAIO 2011	

$$Mr \text{ [psi]} = 1500 * CBR$$

questa relazione è ristretta al caso di terreni fini con CBR saturo <10% altrimenti viene proposta la relazione successiva, valida per un più ampio spettro di valori di CBR

$$Mr \text{ [psi]} = 2555 * CBR^{0.64}$$

Per ottenere il valore in MPa occorre applicare il fattore di conversione:

$$1 \text{ psi} = 4.4498 / 24.5^2 = 0.006895 \text{ MPa}$$

ing. Dimitri ADAMO

2.3 Grado di affidabilità del metodo

Via Monte Nero
43100 Parma
e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it
p.i. 02284160344

Documento

SA00-1003

Rev.

C

L'affidabilità (*Reliability*) viene sinteticamente riassunta dalla guida nella definizione seguente:

Pagina

"L'affidabilità di un processo di progettazione e prestazioni di una pavimentazione, con il metodo proposto, è la probabilità che durante la sua vita utile essa svolga la sua funzione soddisfacendo a tutti i requisiti che è chiamata a soddisfare".

Da tale definizione si evince che l'affidabilità delle sovrastrutture stradali dipende sia dalle variazioni delle applicazioni di carico a cui la pavimentazione è sottoposta durante la vita utile che dalle variazioni che si possono avere nelle previsioni delle prestazioni e del traffico in fase di progettazione.

w_T = valore del traffico previsto,

W_t = valore delle prestazioni previste;

N_t = valore delle prestazioni reali;

N_T = valore del traffico reale.

i due errori citati possono essere descritti come segue:

nella previsione del valore del traffico: $(\log w_T - \log N_T) = \pm \delta(N_T, w_T)$

nella previsione della prestazione: $(\log N_t - \log W_t) = \pm \delta(N_t, W_t)$

Si ammette che tali errori siano casuali con una distribuzione di tipo normale (gaussiana).

Introducendo il fattore di affidabilità di progetto F_r (*reliability design factor*) che si definisce quindi come:

$$(\log W_t - \log w_T) = \log F_r \geq 0$$

e la deviazione complessiva:

$$(\log N_t - \log N_T) = \pm \delta_0$$

si può dimostrare che se la distribuzione è normale, ossia se δ_0 è una variabile aleatoria, $\overline{\delta_0} = \log F_r$

normalizzando δ_0 attraverso S_0 che rappresenta la deviazione standard della previsione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione si ottiene

$$Z = (\delta_0 - \overline{\delta_0}) / S_0 \text{ ossia } Z = (\delta_0 - \log F_r) / S_0$$

In corrispondenza dell'ascissa $\delta_0 = 0$ si ottiene $Z = Z_R = -\log F_r / S_0$ da cui:

$$\log F_r = -Z_R S_0$$

Definito quindi il fattore R come la probabilità che l'evento $N_t \geq N_T$ ossia $\delta_0 \geq 0$ si verifichi e fissato a priori il suo valore viene fissato il valore di Z_R (si veda la Tabella 2). Nella guida vengono indicati dei metodi per stimare il valore di R appropriato, nel caso Italiano si può fare riferimento al Catalogo Italiano delle Pavimentazioni (CNR - b.u. n°178) si veda la Tabella 3. Il valore di S_0 viene parimenti suggerito compreso tra 0.40 e 0.50.

Table EE.9. Evaluation of reliability design factor for specified reliability and overall variance levels.

Lower Limit of S_o Range ($S_o - .005$) ²	Est. Std. Dev. S_o	Reliability Level (R) & Corresponding Normal Curve Abscissa (Z_R)								
		R=50%	R=60%	R=70%	R=80%	R=90%	R=95%	R=99%	R=99.9%	
		$Z_R = .000$	$Z_R = .253$	$Z_R = .524$	$Z_R = .841$	$Z_R = 1.28$	$Z_R = 1.64$	$Z_R = 2.32$	$Z_R = 3.09$	
.0600	.25	1.00	1.16	1.35	1.62	2.09	2.58	3.82	5.92	
.0650	.26	1.00	1.16	1.37	1.65	2.15	2.68	4.03	6.36	
.0702	.27	1.00	1.17	1.39	1.69	2.22	2.78	4.25	6.83	
.0756	.28	1.00	1.18	1.40	1.72	2.29	2.89	4.48	7.33	
.0812	.29	1.00	1.18	1.42	1.75	2.35	3.00	4.73	7.87	
.0870	.30	1.00	1.19	1.44	1.79	2.42	3.12	4.99	8.45	
.0930	.31	1.00	1.20	1.45	1.82	2.50	3.24	5.26	9.08	
.0992	.32	1.00	1.20	1.47	1.86	2.57	3.36	5.55	9.75	
.1056	.33	1.00	1.21	1.49	1.89	2.65	3.49	5.86	10.5	
.1122	.34	1.00	1.22	1.51	1.93	2.73	3.62	6.18	11.2	
.1190	.35	1.00	1.23	1.53	1.97	2.81	3.76	6.52	12.1	
.1260	.36	1.00	1.23	1.54	2.01	2.89	3.91	6.88	13.0	
.1332	.37	1.00	1.24	1.56	2.05	2.98	4.06	7.26	13.9	
.1406	.38	1.00	1.25	1.58	2.09	3.07	4.22	7.66	14.9	
.1482	.39	1.00	1.26	1.60	2.13	3.16	4.38	8.08	16.0	
.1560	.40	1.00	1.26	1.62	2.17	3.26	4.55	8.53	17.2	
.1640	.41	1.00	1.27	1.64	2.21	3.35	4.73	9.00	18.5	
.1722	.42	1.00	1.28	1.66	2.26	3.45	4.91	9.49	19.9	
.1806	.43	1.00	1.28	1.68	2.30	3.56	5.10	10.0	21.3	
.1892	.44	1.00	1.29	1.70	2.34	3.66	5.29	10.6	22.9	
.1980	.45	1.00	1.30	1.72	2.39	3.77	5.50	11.1	24.6	
.2070	.46	1.00	1.31	1.74	2.44	3.89	5.71	11.8	26.4	
.2162	.47	1.00	1.31	1.76	2.48	4.00	5.93	12.4	28.3	
.2256	.48	1.00	1.32	1.78	2.53	4.12	61.6	13.1	30.4	
.2352	.49	1.00	1.33	1.81	2.58	4.25	6.40	13.8	32.7	
.2450	.50	1.00	1.34	1.83	2.63	4.38	6.65	14.6	35.1	
.2550	.51	1.00	1.35	1.85	2.68	4.51	6.90	15.4	37.7	
.2652	.52	1.00	1.35	1.87	2.74	4.64	7.17	16.2	40.4	
.2756	.53	1.00	1.36	1.90	2.79	4.78	7.44	17.1	43.4	
.2916	.54	1.00	1.37	1.92	2.84	4.92	7.73	18.1	46.6	
.2970	.55	1.00	1.38	1.94	2.90	5.07	8.03	19.0	50.1	
.3080	.56	1.00	1.39	1.97	2.96	5.22	8.34	20.1	53.8	
.3192	.57	1.00	1.39	1.99	3.02	5.38	8.66	21.2	57.7	
.3306	.58	1.00	1.40	2.01	3.07	5.54	9.00	22.4	62.0	
.3422	.59	1.00	1.41	2.04	3.13	5.71	9.34	23.6	66.5	
.3540	.60	1.00	1.42	2.06	3.20	5.88	9.71	24.9	71.4	

ing. Dimitri ADAMO

11, via Monte Nero

Documento

SA00-1003

Rev.

C

Data

FEBBRAIO 2011

Pagina

11/17

R %	Z_R
50	-0.253
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Tabella 2

ing. Dimitri ADAMO

11, via Monte Nero

03021030897

e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it

Documento

SA00-1003

Rev.

C

2.4 Decadimento ammissibile della pavimentazione

La definizione del raggiungimento della fine della vita utile è convenzionale ed è rappresentata da un coefficiente denominato PSI (*Present Serviceability Index*). Esso viene definito in funzione della media delle variazioni del pendenza del profilo, della profondità delle ormaie, della superficie delle buche e dei rattoppi, o di lesioni di determinate caratteristiche riferite all'unità di superficie. Una relazione analitica traduce le misurazioni dei parametri suesposti.

I valori di variano da valori ottimi pari a 5 all'inizio della vita utile a valori limite di 0 quando l'efficienza della pavimentazione è nulla. Tuttavia livelli inferiori a $1 \div 1.5$ non sono in genere accettabili poiché sarebbero compromessi i livelli di servizio e la sicurezza della strada. I valori limite ammissibili dipendono dall'importanza del collegamento stradale: quanto questo sarà maggiore tanto più alto deve essere il limite ammissibile di PSI. I valori iniziali di PSI difficilmente sono pari a 5. Valori più realistici sono compresi tra $4.5 \div 4.8$, in genere si può assumere un valore di 4.6.

Si assumono poi in questa sede come valori finali quelli riportati nella Tabella 3 tratta dal Catalogo Italiano delle Pavimentazioni (CNR - b.u. n°178) cui si è legato il riferimento al tipo di strada definito dal D.M. 5.11.2001.

Tipo di strada	Tipo Rif.	Affidabilità	PSI _f	ΔPSI	S ₀	Z _r * S ₀
	DM 5.11.2001	R [%]				
Autostrade extraurbane	A	90	3.0	1.6	0.45	-0.5769
Autostrade urbane	A	95	3.0	1.6	0.4	-0.658
Strade extraurbane a forte traffico	B	90	2.5	2.1	0.45	-0.5769
Strade extraurbane secondarie ordinarie	C	85	2.5	2.1	0.4	-0.4148
Strade extraurbane secondarie turistiche	F	80	2.5	2.1	0.45	-0.3785
Strade urbane di scorrimento	D	95	2.5	2.1	0.4	-0.658
Strade urbane di quartiere e locali	E, F	90	2.0	2.6	0.45	-0.5769
Corsie preferenziali	-	95	2.5	2.1	0.4	-0.658

Tabella 3

Il valore differenziale ottenuto è considerato dovuto solo ai semplici effetti del traffico e la guida impone di correggerlo con un differenziale dovuto agli effetti indiretti del decadimento del sottofondo, nell'appendice G della guida sono illustrati i dettagli del caso. Nel caso presente poiché il sottofondo della strada è costituito dal rilevato stradale il controllo di tali fenomeni è affidato alla bontà del corpo del medesimo e atteso che il progetto del sottofondo tiene conto della riduzione minima dei cedimenti si trascura questa correzione.

Nella metodologia proposta dall' "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures" i carichi di traffico sono rappresentati dal numero cumulato (W_{18}) di assi standard (ESAL²) da 8,16 t (18 kip)

Generalmente il dato di partenza è il traffico giornaliero medio TGM, che transita o si presume transiterà nell'infrastruttura nel primo anno di vita utile:

il numero di giorni corrisponde, in genere, al numero di giorni lavorativi anziché ai giorni solari, poiché ci si riferisce ai veicoli commerciali, e quindi varia tra 310 e 340.

$$N = gg \cdot TGM$$

Il valore ricavato dovrà essere corretto per tener conto dei seguenti fattori:

l'evoluzione del traffico nel corso degli anni (r). È evidente che è estremamente difficile poter prevedere l'esatta evoluzione, ma in genere si assiste ad tassi di crescita maggiori nei primi anni che si riducono nel tempo. In mancanza di dati più precisi si può assumere un tasso compreso tra il 2÷5% nel primo periodo di vita utile, 1÷3% nel medio periodo di vita utile e 2% nell'ultima parte;

la distribuzione del traffico per senso di marcia (p_d). In genere si può assumere che il TGM si suddivida equamente nelle due direzioni. In particolari situazioni, legate a fenomeni di pendolarismo si può verificare una diversa suddivisione (70% in un senso, 30% nell'altro); ovviamente se il TGM è già misurato per una direzione di marcia $p_d=100\%$.

la percentuale di veicoli commerciali (p). Questa varia da valori nulli se il transito è interdetto a questa categoria di mezzi, fino ad assumere valori del 30÷40%. Valori medi sono compresi intorno tra 10÷15%;

Percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta (p_l). Non tutti i veicoli definiti commerciali transitano nella corsia lenta; parte di questi, soprattutto quelli con minori carichi per asse, raggiungono velocità tali da impegnare anche le altre corsie. Di ciò si tiene conto ipotizzando che generalmente il 95% di tutti i veicoli commerciali transiti sulla corsia lenta; naturalmente se la strada è a singola carreggiata $p_l=100\%$

la dispersione delle traiettorie (d). La traiettoria seguita dalle ruote, come già accennato, non è sempre la stessa, ma si disperde nell'intorno di un valore medio. Si tiene conto di ciò riducendo, in genere del 20%, il TGM;

la distribuzione dei carichi del traffico commerciale. I veicoli che lo compongono non hanno gli stessi carichi per asse e, quindi, determinano livelli di sollecitazione differenti. Per poter rendere uniforme i risultati spesso si ricorre al concetto di asse equivalente (C_{eq}) a cui riferire tutti gli altri. La progressione al crescere del danno prodotto non è semplicemente lineare ma di tipo esponenziale.

- Yoder ha proposto l'espressione $C_{eq} = 2^{0.78(x-y)}$ dove x è il peso dell'asse in esame ed y il peso dell'asse equivalente standard.
- Ricerche più recenti mostrano essere più realistico il seguente legame: $C_{eq} = (x/y)^4$. La dipendenza dalla 4^a potenza è stata studiata con riferimento all'asse standard da $y=80$ KN ed è riconosciuta valida internazionalmente.

il numero medio di assi presenti in un generico veicolo commerciale (n_a). Questo è compreso tra 2 e 5. Se si tiene conto della distribuzione delle differenti classi di veicoli commerciali, si può assumere un valore compreso tra 2.25 e 2.7.

È bene precisare che con corsia lenta si intende o la corsia destra di marcia normale o, se presente, la corsia di arrampicamento, quando la pendenza della livelletta e la percentuale di veicoli pesanti la rendono necessaria.

Il numero N di assi cumulati alla fine della vita utile potrà quindi essere determinato con la relazione seguente:

$$N = gg \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Il numero di assi che transitano in un giorno dell'ultimo anno della vita utile sarà:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot (1+r)^n$$

Sulla base delle assunzioni suesposte la formula si può semplificare assumendo i parametri come segue:

Numero di giorni commerciali per anno

gg

340

Aliquota di traffico per direzione di marcia

p_d

100.00%

² ESAL = Equivalent Standard Axle Load. Questo rappresenta l'asse standard assunto dall'AASHTO pari a 18 kip (ChiloPound). Poiché **1 Pound = 0.4536 Kg** esso equivale a $18'000 \times 0.4536 \text{ Kg} = 8'164.8 \text{ Kg}$

ing. Dimitri ADAMO Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale 11, via Monte Nero Coefficiente di dispersione delle traiettorie +39 0521 030897 Vita Utile in anni e-mail dimitri.adamo@studiovbc.it P.i. 02284180344		Documento	Rev.	
	p _i	95.00%	SA00-1003	C
	d	0.8	Data	Pagina
	n	20	FEBBRAIO 2011	14/17
Tasso di accrescimento del traffico durante la vita utile	r	5.00%		

da cui

$$N = 8544 \cdot TGM \cdot p \cdot C_{eq} \cdot n_a$$

Assumendo valida la legge della 4^a potenza e che un asse da 18 kip coincida con l'asse standard da 82 KN (8.2 t), la valutazione del traffico cumulato W_{18} in ESAL può essere condotta noto lo spettro di traffico.

Lo spettro di traffico corrisponde alla composizione tipologica di veicoli che transitano sulla strada. Poiché varia da paese a paese, per l'Italia ci si può rifare ad una composizione indicata nel Catalogo delle Pavimentazioni che definisce 16 tipi di veicoli commerciali in funzione del numero di assi e del carico per asse. In realtà ciascun ente stabilisce dei criteri differenti per la misurazione del traffico ed occorre perciò tradurre tali criteri in una tabella ad hoc.

In linea generale infatti le rilevazioni di traffico vengono eseguite per categorie di veicoli secondo la loro lunghezza e/o secondo la loro tipologia, occorre quindi, sulla base di schemi desunti dal parco veicoli circolanti fare delle estrapolazioni sul numero di assi e del peso competente a ciascuno di essi.

4	ing. Dimitri ADAMO Verifiche asse principale <small>M. Via Monte Nero 43100 Parma +39 0521 030897 dimitri.adamo@iovbc.it p.i. 02284160344</small>	Documento	Rev.
		SA00-1003	
4.1	Dati di traffico	Data	Pagina
		FEBBRAIO 2011	15/17

I dati di traffico sono stati desunti da indagini condotte sulla vecchia via Emilia in diverse date sulla sezione indicata con il n°18.

Purtroppo non sono stati splittati per veicoli con tipologie di assi ma solo per classi di veicoli leggero /pesante dove si evidenzia un valore medio per entrambe le direzioni di marcia.

Facendo una ipotesi sulla tipologie di veicoli commerciali basata sui cataloghi delle ditte produttrici, si ottiene una classificazione di assi come in allegato 1, da questo si ricava il valore di Esal:

Traffico giornaliero medio	TGM	22750
Numero di giorni commerciali per anno	gg	300
Aliquota di traffico per direzione più carica	pd	50.00%
Percentuale di veicoli commerciali	p	12.97%
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale	pl	95.00%
Coefficiente di dispersione delle traiettorie	d	0.8
Numero medio di assi ESAL per veicolo commerciale	Ceq*na	6.15
Numero medio di assi 120 per veicolo commerciale	Ceq*na	1.31
Vita Utile in anni	n	20
Tasso di accrescimento del traffico durante la vita utile	r	5.00%

W_{18}	68.35	Milioni
N_{120}	14.61	Milioni

ing. Dimitri ADAMO
4.2 Dati del pacchetto

I dati relativi al pacchetto sono i seguenti.

I dati di modulo degli strati bituminosi sono corrispondenti a prodotti rispondenti ai min. FEBBRAIO 2011

Documento SA00-1003		Rev. C
Data FEBBRAIO 2011	Pagina 16/17	

Tipo di strada	Strade extraurbane a forte traffico
CBR sottofondo	78.0%
Mr sottofondo	15.026 [MPa]
SN	9.3
$Z_R \cdot S_0$	-0.5769
Δ PSI	2.1
Spessore tot pavimentazione	56 [cm]
$\log(W_{18})$	8.025
ESAL	105.89
Strato superficiale (usura)	
Spessore	4 cm
Modulo	4500 MPa
ai	0.498
ai Di	0.785
Strato superficiale (binder)	
Spessore	7 cm
Modulo	4000 MPa
ai	0.479
ai Di	1.320
Strato superficiale (base)	
Spessore	10 cm
Modulo	4000 MPa
ai	0.479
ai Di	1.886
Strato superficiale (cementato)	
Spessore	15 cm
Modulo	9012 MPa
ai	0.628
ai Di	3.708
Strato superficiale (stabilizzato)	
Spessore	20 cm
Modulo	600 MPa
ai	0.200
ai Di	1.572

Come si vede il valore di Esal corrispondente a questo tipo di pacchetto corrisponde a $105.89 > 68.35$ il pacchetto si ritiene dunque dimensionato correttamente per una durata di 20 anni.

ing. Dimitri ADAMO
Allegato: Schema della distribuzione degli assi per tipo di veicolo

via Monte Nero
 43100 Parma
 +39 0521 030897
 e.mail dimitri.adamo@studiovbc.it
 p.i. 02284160344

Documento SA00-1003		Rev. C
Data FEBBRAIO 2011		Pagina 17/17

Tipo veicolo	Peso assi [kN]																			Peso tot. [kN]	Lungh tot [m]
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160					
2 Furgone	1.5	1																		35	6.5
3 Autocarro leggero			1	1																70	7
3 Autocarro medio			1						2											230	7
3 Autocarro pesante								2				2								440	9.5
4 Autocarro pesante											1									440	9.25
4 Camion con rimorchio							1			3										410	15
5 Autorticolato					1	2			3											440	16
6 Autobus							1	2												260	16
7 Trasporto eccezionale					1							1	3							560	>20
8 Veicolo agricolo			2		2					1	1									370	?