

COMUNE DI CASTIGLIONE DELLE STIVIERE



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

INTERVENTI DI VIABILITA' - NUOVA ROTATORIA INCROCIO PORTA LAGO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Leo Galli		PROGETTISTA Ing. Davide Zubbi Via Deretti n. 71 Carpenedolo (BS)	
RELAZIONE DI VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE			ELABORATO 1.2
DATA Novembre 2018			SCALA
REV.			

Provincia di Mantova

Regione Lombardia

1) Premessa

La metodologia di dimensionamento proposta dall' AASHTO si basa sulla quantificazione della capacità strutturale di una pavimentazione attraverso il Numero di Struttura SN (Structural Number).

2) Il Numero di Struttura di progetto

Il metodo di dimensionamento (AASHTO Guide Design of Pavement Structures) si fonda sul contributo di 4 fattori che considerano i seguenti aspetti:

- 1) traffico di progetto;
- 2) grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento;
- 3) decadimento limite ammissibile della sovrastruttura;
- 4) caratteristiche degli strati (Numero di struttura SN).

L'espressione analitica assunta nell'AASHTO Guide come relazione fondamentale di dimensionamento è la seguente:

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

3) Traffico.

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 (ESAL¹) 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. Questo dovrà essere corretto considerando i seguenti fattori:

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 $18.000 \times 0.4536 \text{ Kg} = 8.164,8 \text{ Kg}$

L'evoluzione del traffico nel corso degli anni (r). È alquanto difficile poter prevederne l'esatta evoluzione, in genere si assiste a tassi di crescita maggiori nei primi anni di vita tassi che poi si riducono nel tempo. In mancanza di dati più precisi si può assumere un tasso compreso tra il 2%÷3% nel primo periodo di vita utile, 1 ÷ 2% nel medio periodo di vita utile e 1% 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);

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 commerciali transitano nella corsia lenta; parte di questi, soprattutto quelli con minor carico, raggiungono velocità tali da impegnare anche le altre corsie. Si considera questo aspetto ipotizzando che (generalmente) il 95% di tutti i veicoli commerciali transiti sulla corsia lenta;

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 determinando livelli di sollecitazione differenti. Per omogeneizzare i risultati si ricorre al concetto di asse equivalente che la progressione del danno prodotto varia in modo esponenziale con il carico stesso.

- 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 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 degli assi di un generico veicolo commerciale. 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 determinarsi moltiplicando il TGM per i parametri suddetti:

$$N = 365 \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

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

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

Assumendo valida la legge della 4a potenza e che un asse da 18 kip coincida con l'asse standard da 80 KN (8 t), la valutazione del traffico cumulato W18 in ESAL può essere condotta noto lo spettro di traffico.

4) Affidabilità.

Questo fattore di dimensionamento considera le condizioni aleatorie che possono inficiare le previsioni di traffico e le prestazioni delle pavimentazioni. L'affidabilità di un processo di dimensionamento della pavimentazione è probabilità che la sezione dimensionata possa mantenersi in condizioni accettabili durante tutta la vita utile.

Uno dei dati assunti in fase di progetto è il valore del traffico cumulato sopportabile dalla sovrastruttura **Wt** in ESAL. Inoltre, viene anche assunta una legge di crescita che, per ciascun anno, fornisce il valore cumulato **Wt** di ESAL transitati sino a quel momento.

Nella realtà si verificheranno differenze tra questo ultimo e il valore di assi realmente transitato **Nt**, l'errore che si commette è dovuto al fatto che la pavimentazione andrà fuori servizio per un valore di ESAL pari a **Nt** invece di quello previsto in sede di progetto e pari a **Wt**.

Si assume per tali errori una distribuzione statistica di tipo normale (gaussiana).

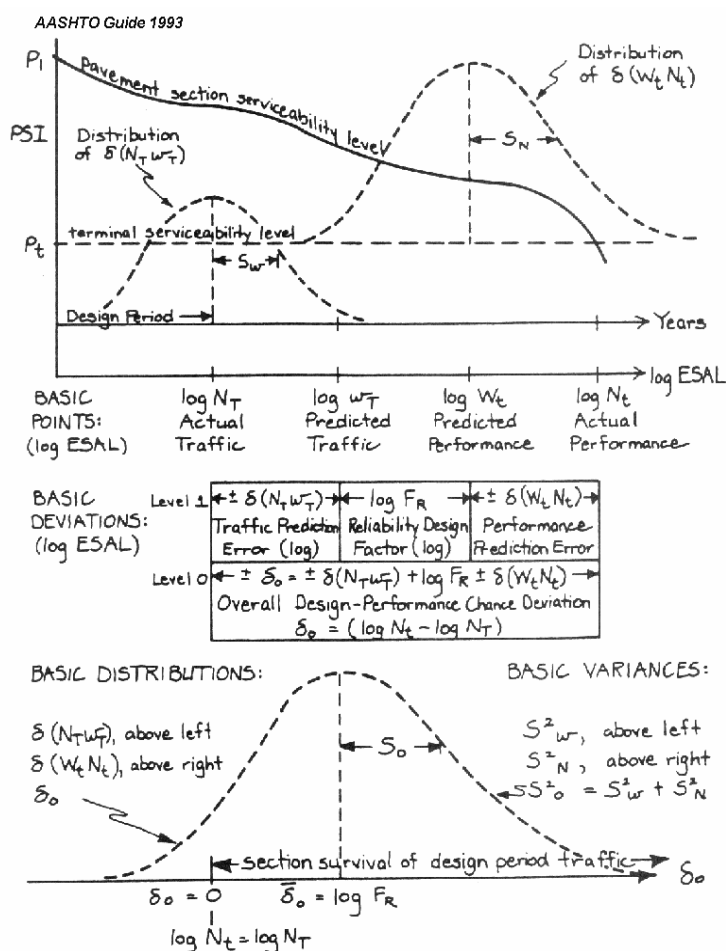
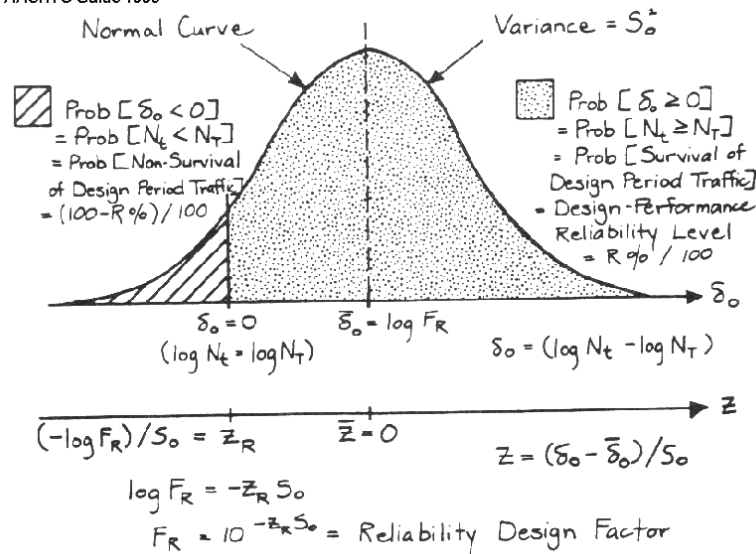


Figure 4.3. Basic Probability Distributions for Design-Performance Reliability



NOTE 1. The value of Z_R is determined by the value of R , and is obtained from standard normal curve area tables by entering $(100 - R\%) / 100$ for the tail area from $-\infty$ to Z_R .

NOTE 2. If $\log F_R = 0$, $Z_R = 0$, $F_R = 1$, and $R = 50\%$. Thus the probability for design period survival is 50% if the traffic prediction (w_T) is substituted directly for W_t in the performance prediction (design) equation.

NOTE 3. For fixed R (hence fixed Z_R), F_R increases (or decreases) as $S_o = \sqrt{S_{tr}^2 + S_N^2}$ increases (or decreases). F_R accounts for the total chance variation in traffic predictions and performance predictions.

Definition of Reliability and Evaluation of Reliability Design Factor

Nel metodo dell'AASHTO l'affidabilità **R** (reliability) viene introdotta attraverso i coefficienti S_o e Z_R . S_o rappresenta la deviazione standard nella predizione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione. Z_R è l'ascissa della distribuzione standard ridotta. Senza entrare nei dettagli analitici è facile dimostrare che il **Fattore di Affidabilità di Progetto F_R** è tale che:

$$F_R = \frac{W_t}{w_T} = 10^{-Z_R S_o}$$

L'affidabilità **R** rappresenta la probabilità che un determinato evento accada. Affermare che $R=95\%$ significa che in 95 casi su cento le previsioni di progetto (traffico, prestazione pavimentazione) consentono di raggiungere la prefissata vita utile. Viceversa

nel 5% dei casi ciò non si verifica. Per ciascun valore di R esiste un ben determinato valore di deviazione standard ridotta Z_R .²

AASHTO Guide 1993

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

Lower Limit of S_Q Range $(S_Q-.005)^2$	Est. Std. Dev. S_Q	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

² Il valore di R rappresenta l'area sottesa dalla curva di distribuzione normale ridotta tra Z_R e $+\infty$. Per ciascun valore di R esiste un determinato valore di Z_R come specificato in tabella:

R %	Z_R
50	-0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674

R %	Z_R
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340

R %	Z_R
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645

R %	Z_R
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327

R %	Z_R
99.9	-3.090
99.99	-3.750

La valutazione di F_R consente di valutare il fattore $Z_R \cdot S_0$ presente nella formula di dimensionamento proposta dall'AASHTO. Le indagini condotte dall'AASHTO raccomandano per pavimentazioni di tipo flessibile e semirigido un valore di S_0 compreso tra **0.40** e **0.50**. Valori inferiori sottintendono il fatto che il reale comportamento del traffico e dell'efficienza della pavimentazione è meno disperso intorno al valore medio.

La tabella EE.9 proposta dall'AASHTO Guide consente per un dato valore di affidabilità **R** e S_0 di determinare il valore di F_R . Il valore di affidabilità **R** sono consigliati in funzione dell'importanza dell'infrastruttura stradale, come mostrato nella tabella 9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali.

Tabella 9 - Affidabilità e PSI

Tipo di strada	Affidabilità (%)	PSI
1) Autostrade extraurbane	90	3
2) " urbane	95	3
3) Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie - ordinarie	85	2.5
5) " " " -turistiche	80	2.5
6) Strade urbane di scorrimento	95	2.5
7) " " di quartiere e locali	90	2
8) Corsie preferenziali	95	2.5

5) Decadimento limite ammissibile della sovrastruttura.

L'indice assunto dall'AASHTO per valutare il decadimento nelle delle sovrastrutture è il Present Serviceability Index PSI. Esso viene definito in funzione della media delle variazioni di 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.

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38 RD$$

con:

SV = media delle variazioni di pendenza del profilo longitudinale

C = area delle buche e dei rappezzi, per unità di superficie;

P = area fessurata o lesionata con particolari caratteristiche, per unità di superficie;

RD = media delle misura di profondità delle ormaie.

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.

Possono essere assunti i valori riportati nella tabella n°9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni.

Tabella 9 - Affidabilità e PSI

Tipo di strada	Affidabilità (%)	PSI
1) Autostrade extraurbane	90	3
2) " urbane	95	3
3) Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie - ordinarie	85	2.5
5) " " " -turistiche	80	2.5
6) Strade urbane di scorrimento	95	2.5
7) " " di quartiere e locali	90	2
8) Corsie preferenziali	95	2.5

I valori iniziali di PSI difficilmente sono pari a 5. Valori più realistici sono compresi tra $4.5 \div 4.8$.

6) Caratteristiche degli strati (Numero di struttura SN).

Nel metodo ad ogni strato (di spessore H_i espresso in pollici) viene assegnato un coefficiente di struttura (tabella n°1), che rappresenta il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione.

Un ulteriore fattore viene introdotto per considerare gli effetti del drenaggio (d_i tabella n°3). Il contributo di ogni singolo strato alla prestazione complessiva della pavimentazione è dato dal prodotto dei 2 coefficienti a_i , d_i per il suo spessore H_i .

$$SN_i = a_i H_i d_i$$

SN_i = numero di struttura dell'i-esimo strato [inch];
 a_i = coefficiente di strato dell'i-esimo strato [adimensionale];
 H_i = spessore dell'i-esimo strato [inch].
 d_i = coefficiente di drenaggio dell'i-esimo strato.

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:

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

dove

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

E_i = modulo resiliente dello strato

E_g = modulo resiliente del materiale standard secondo l'AASHTO 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

Inoltre, si tiene conto del contributo dato dal sottofondo SNSG (structural number of subgrade)

Il valore di SN viene, infine, valutato con la seguente espressione³:

$$SN = \sum_{i=1}^{n_{strati}} a_i H_i d_i + SNSG \quad [\text{Inch}]$$

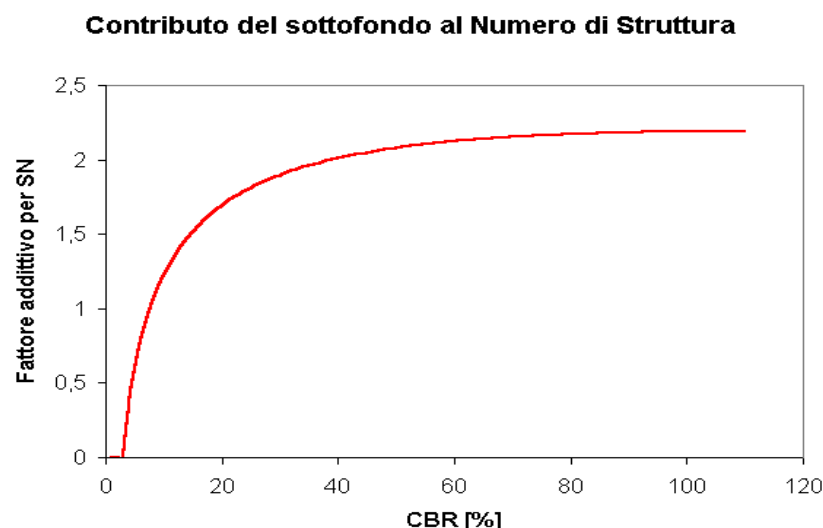
○ **Caratteristiche del sottofondo**

Le caratteristiche del sottofondo vengono considerate nella formula di dimensionamento proposta dall'AASHTO attraverso il modulo resiliente M_R espresso in psi (pound square inch)⁴

Il contributo del sottofondo viene introdotto attraverso la sua capacità portante CBR:

$$\begin{aligned} SNSG &= 3.51 \log_{10} CBR - 0.85 (\log_{10} CBR)^2 - 1.43 \quad \text{per } CBR \geq 3 \\ SNSG &= 0 \quad \text{per } CBR < 3 \end{aligned}$$

CBR = indice di portanza CBR (California Bearing Ratio) [%].



La valutazione di SN può essere condotta indirettamente attraverso le correlazioni con altri parametri che descrivono le caratteristiche strutturali delle sovrastrutture. Tra questi un legame particolarmente utile risulta quello tra SN e il modulo resiliente del sottofondo M_R .

$$CBR = \frac{M_R}{10}$$

M_R = modulo resiliente del sottofondo in MPa

CBR = indice di portanza CBR (California Bearing Ratio) [%].

³ Se gli spessori sono espressi in mm l'espressione si modifica, tenendo conto che 1 pollice = 25.4 mm,

come segue: $SN = \sum_{i=1}^{n_{strati}} a_i d_i \frac{H_i}{25.4} + SNSG = 0.03938 \sum_{i=1}^{n_{strati}} a_i d_i H_i + SNSG$

⁴ 1 pound = 0.4536 kg 1 psi = 0.4536/2.45² = 0.0703081 kg/cm² = 101.500 · 0.073081 = 7136.2722 Pa
1 inch = 2.54 cm

Tab. n°1

Pavement Layer	Layer Strength Coefficient a_i				
	TRL (1975)	AASHTO (1993)	Paterson (1987)	CRRl (1993b)	Cenek and Patrick (1994)
Surface Courses					
Surface Treatment (ST)	0.100		0.20 - 0.40	0.180 0.250	0.300
Surface Dressing (SSD/DSD)					
Premix Carpet (PMC)	0.200		0.200	0.300	0.200
Semi-Dense Carpet (SDC), 25mm					
Asphalt Mixture (cold/hot premix of low stability)	0.180		0.300 0.400 0.500		0.300 0.400 0.450
Asphalt Concrete (AC), 25 mm					
Asphalt Concrete (AC), 40/ 25 mm					
AC, MR30 = 1500 MPa					
AC, MR30 = 2500 MPa					
AC, MR30 = 4000 MPa					
Elastic Mod. at 68F, E = 100,000 psi		0.200			
Elastic Mod. at 68F, E = 200,000 psi		0.300			
Elastic Mod. at 68F, E = 300,000 psi		0.350			
Elastic Mod. at 68F, E = 400,000 psi		0.425			
Base Courses					
GB, CBR = 30%	0.070	0.095	0.00-0.07	0.140	0.140
GB, CBR = 50%	0.100	0.110	0.00-0.10		
GB, CBR = 70%	0.120	0.125	0.10-0.12	0.200 0.160 0.140	
GB, CBR = 90%	0.135	0.130	0.12-0.13		
GB, CBR = 110%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam (WBM)					
CB, UCS = 0.7 MPa	0.100	0.100	0.100		
CB, UCS = 2.0 MPa	0.150	0.140	0.150		
CB, UCS = 3.5 MPa	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)					
Thin Bituminous Layer, BT					
AB, Marshall Stability, 200 lb		0.120			
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	0.140	
GB, CBR = 15%	0.085	0.090	0.090		
GB, CBR = 25%	0.100	0.100	0.100	0.120 0.120 0.100	
GB, CBR = 50%	0.120	0.130	0.120		
GB, CBR = 100%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam, Oversized					
Brick Soling					
Brick Ballast/ Aggregates					
Local Gravel/ Kankar					
Cemented Materials,			0.140		

Source: Chakrabarti and Bennett (1994)

○ **Coefficienti di drenaggio.**

Nella AASHTO (Design Guide versione 1986 e1993) i coefficienti di drenaggio, d_i sono usati per modificare il valore del coefficiente di spessore a_i di ogni strato non stabilizzato al di sopra del sottofondo in una pavimentazione flessibile.

Gli strati in conglomerato bituminoso (in 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.

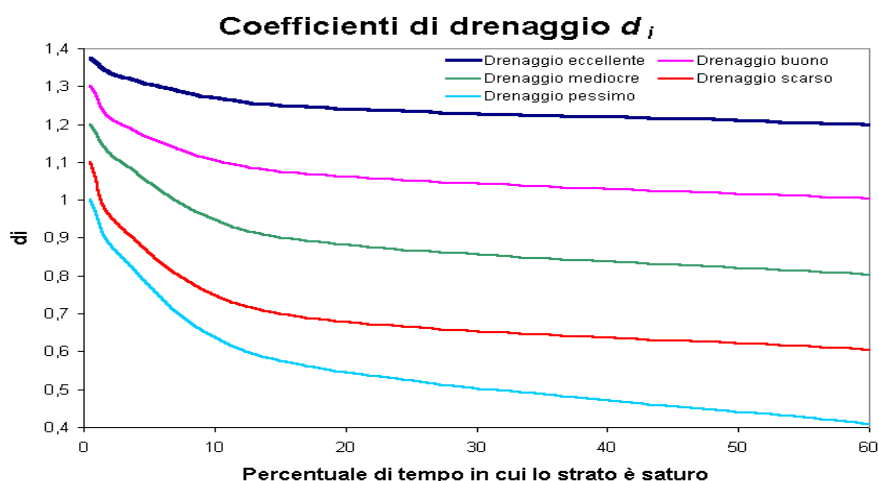
Per gli altri strati i coefficienti di drenaggio sono determinati considerando la qualità del drenaggio e il tempo, in percentuale, che la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicino alla saturazione. L'effetto di un efficiente drenaggio è quello di fornire valori elevati di SN e, pertanto,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

Tab. n°2

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

Tab. n°3

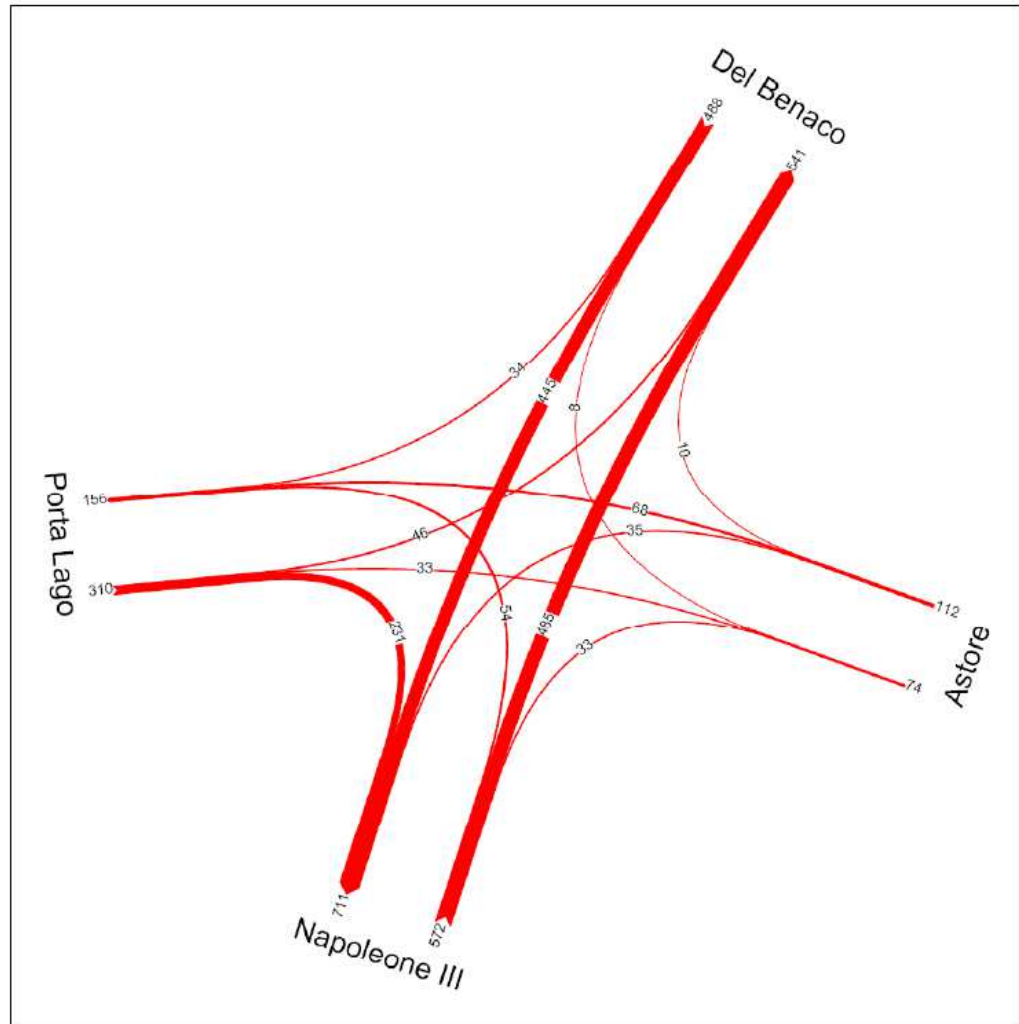
	Percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione			
Qualità drenaggio	< 1%	Da 1% a 5%	Da 5% a 25%	> 25%
Eccellente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buona	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Media	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Scarsa	1.15-1.05	1.05-0.80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



7) Calcolo.

Per la determinazione dei flussi di traffico che interessano l'intersezione si è fatto riferimento al piano generale del traffico del Comune di Castiglione delle Stiviere.

Di seguito si riportano un estratto del rapporto preliminare.

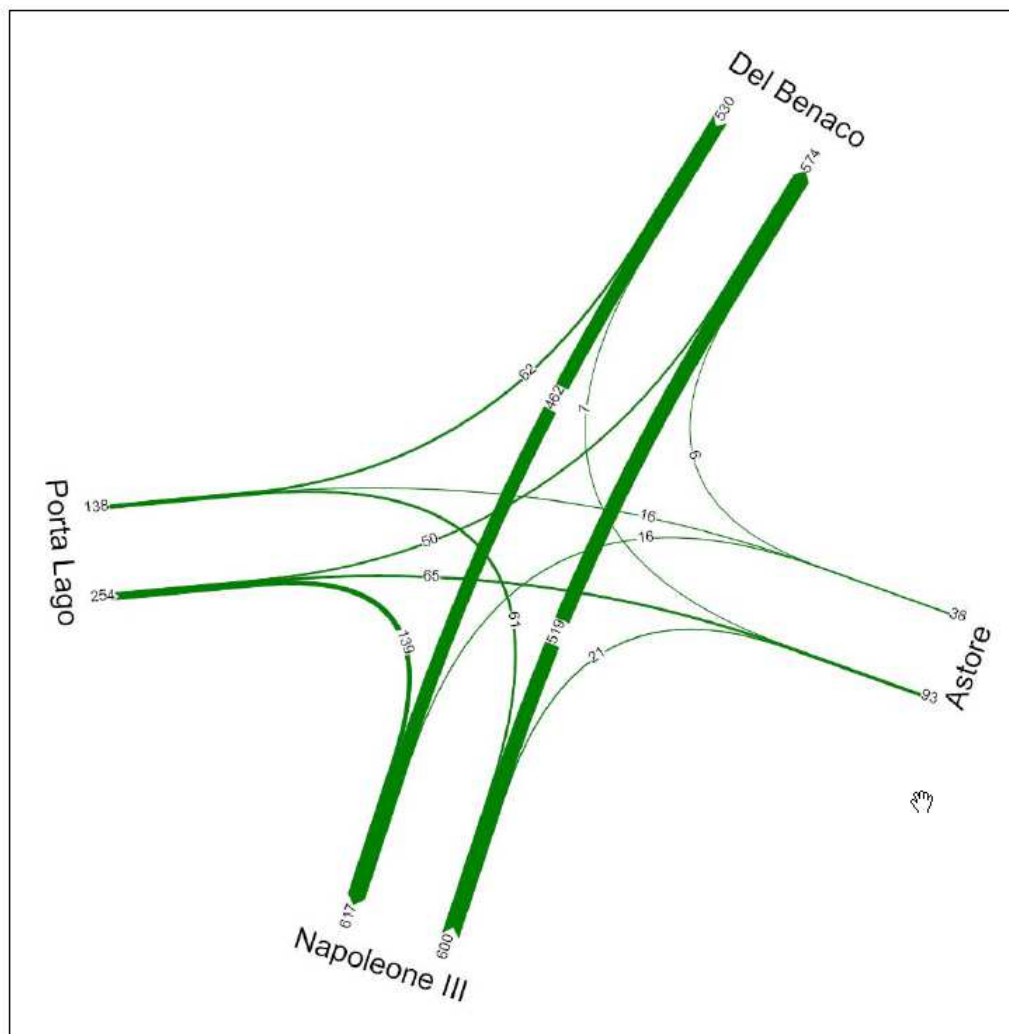


Flussi di traffico equivalente nell'ora di punta del mattino

Durante l'ora di punta del mattino la matrice di distribuzione del traffico è la seguente

		Uscite			
		1	2	3	4
entrate	1		34	445	8
	2	46		231	33
	3	485	54		33
	4	10	68	35	

A cui corrisponde il massimo flusso nell'anello di 617 eph



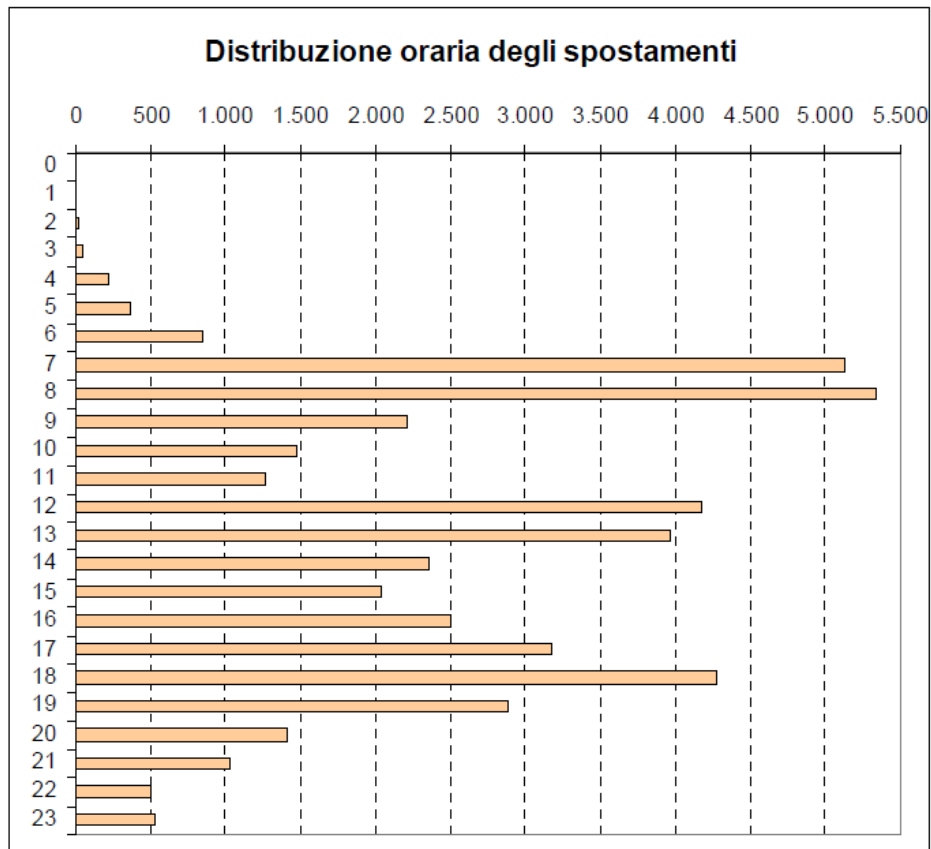
Flussi di traffico equivalente nell'ora di punta del pomeriggio

Durante l'ora di punta del pomeriggio la matrice di distribuzione del traffico è la seguente

		Uscite			
		1	2	3	4
entrate	1		62	462	7
	2	50		139	65
	3	519	61		21
	4	6	16	16	

A cui corrisponde il massimo flusso nell'anello di 683 eph

Tenendo in considerazione che la distribuzione oraria giornaliera è risultata la seguente:



L'incidenza del traffico di punta nelle diverse fasce orarie è riassunta nella seguente tabella:

fascia oraria	spostamenti	%
0.00-6.59	1.547	3,4%
7.00-8.59	10.477	22,9%
9.00-11.59	4.954	10,8%
12.00-13.59	8.142	17,8%
14.00-16.59	6.906	15,1%
17.00-19.59	10.337	22,5%
20.00-23.59	3.478	7,6%
TOTALE	45.841	100,0%

Risulta quindi possibile desumere che il traffico medio giornaliero si può desumere nelle due ore di punta dal seguente calcolo:

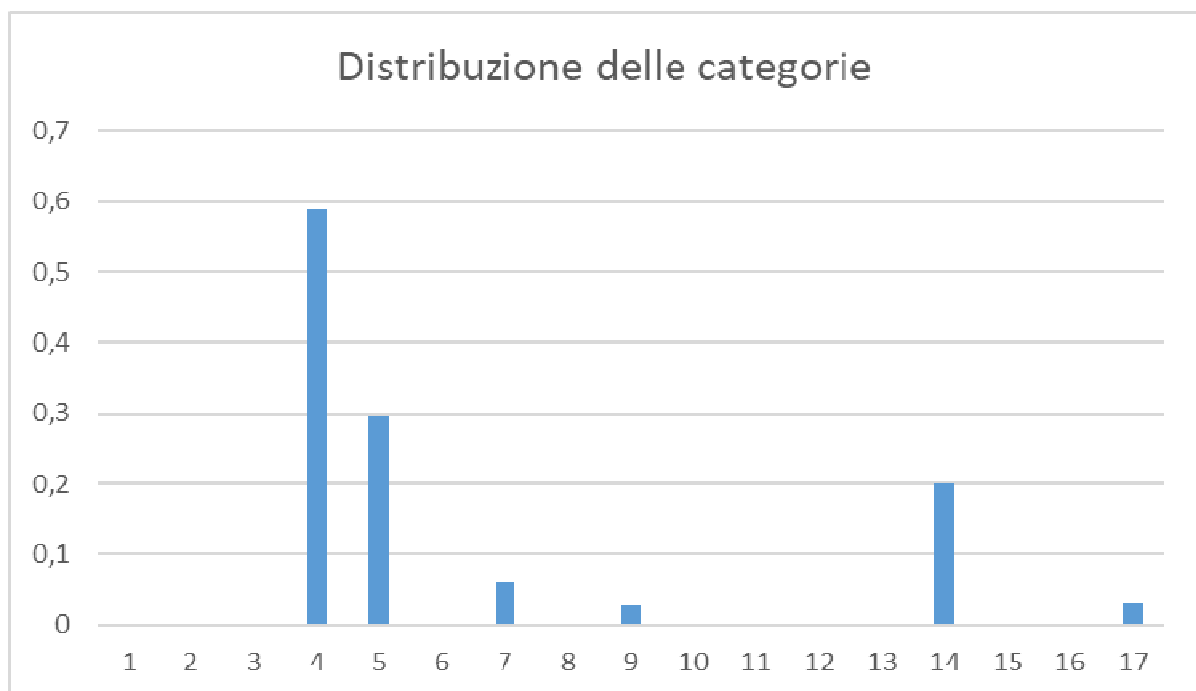
Ora di punta del mattino $TGM = 617 / 22,9\% = 2694 \text{ eph}$

Ora di punta del pomeriggio $TGM = 683 / 22,5\% = 3035 \text{ eph}$

Il tronco stradale in progetto è una strada extraurbana tipo C caratterizzato dai seguenti valori:

Traffico medio giornaliero TGM =	3 035
Numero giorni commerciali per settimana (gg) =	5
Numero settimane commerciali per anno (n.sett.) =	52
Aliquota di traffico per direzione più carica (pd) =	0,5
Percentuale veicoli commerciali (p) =	0,25
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale (pl) =	1
Coefficiente di dispersione delle traiettorie (d) =	0,8
Numero medio di assi per veicolo commerciale (na) =	2,5
Tasso crescita traffico durante la vita utile r =	0,03
Vita utile in anni (n) =	20

Spettro traffico (distribuzione delle 16 categorie dei veicoli considerati dal Catalogo Italiano delle pavimentazioni per strada tipo C)



Si passa dallo spettro di traffico a quello degli assi nota la composizione degli assi che formano ciascuno dei 16 tipi di veicoli commerciali.

Questa può essere riassunta nella seguente tabella ove per ciascuna riga è riportato il numero di assi che compongono il veicolo commerciale:

Tipo veicolo commerciale	Percentuale %		Peso assi (ton)												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,00%	Numero di assi distribuiti per peso	1	1											
2	0,00%			1	1										
3	58,80%					1				1					
4	29,40%						1						1		
5	0,00%					1				2					
6	5,90%							1				2			
7	0,00%					1				2	1				
8	2,80%							1				3			
9	0,00%					1				4					
10	0,00%							1			2	2			
11	0,00%					1				3		1			
12	0,00%							1			3		1		
13	20,00%						1							1	3
14	0,00%					1				1					
15	0,00%							1				1			
16	2,90%						1			1					

Il prodotto di ciascun elemento della precedente tabella per il vettore delle frequenze, con cui si presentano i veicoli commerciali, consente di valutare le frequenze parziali di ciascun asse.

La somma per colonna, infine, fornisce il numero di ciascun tipo di asse presente in 100 veicoli commerciali.

Tipo veicolo commerciale	Percentuale %		Frequenze parziali degli assi												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,00%	Frequenza degli assi distribuiti per peso													
2	0,00%														
3	58,80%					58,8%				58,8%					
4	29,40%						29,4%						29,4%		
5	0,00%														
6	5,90%							5,9%				11,8%			
7	0,00%														
8	2,80%							2,8%				8,4%			
9	0,00%														
10	0,00%														
11	0,00%														
12	0,00%														
13	20,00%						20,0%							20,0%	60,0%
14	0,00%														
15	0,00%														
16	2,90%						2,9%			2,9%					
						58,8%	52,3%	8,7%		61,7%		20,2%	29,4%	20,0%	60,0%

La regola della 4° potenza fornisce per l'asse standard di 80 KN i seguenti coefficienti equivalenza:

Peso asse (ton)	Frequenza asse	Coefficiente equivalenza 4 ^a potenza				Transiti da 8 t			
1	0,0%	0,00024				0,00%			
2	0,0%	0,00391				0,00%			
3	0,0%	0,01978				0,00%			
4	58,8%	0,06250				3,68%			
5	52,3%	0,15259				7,98%			
6	8,7%	0,31641				2,75%			
7	0,0%	0,58618				0,00%			
8	61,7%	1,00000				61,70%			
9	0,0%	1,60181				0,00%			
10	20,2%	2,44141				49,32%			
11	29,4%	3,57446				105,09%			
12	20,0%	5,06250				101,25%			
13	60,0%	6,97290				418,37%			
TOTALE	311,1%	TOTALE				750,14%			

Pertanto il numero di assi equivalenti d 8 t sarà la somma di ciascun contributo parziale dato da ciascuna categoria di assi.

Riassumendo: il passaggio di 100 veicoli commerciali determina il transito di 311.1 assi di differente peso, che corrispondono a 750.14 passaggi di assi da 8 t.

Il coefficiente di equivalenza medio ponderato è pertanto **7.5014**.

$$W_{18} = gg \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \frac{(1+r)^n - 1}{r} = \mathbf{15.905.480}$$

Si ipotizzi una sovrastruttura di tipo semirigido poggianti su un sottofondo con CBR 12%. Lo strato di fondazione è previsto in misto granulare non legato, mentre la base in misto cementato il primo strato il secondo in misto bitumato. Gli strati superficiali di binder e usura sono realizzati in conglomerato bituminoso, rispettivamente aperto e chiuso. Gli spessori ed i coefficienti **a_i**, **d_i** assunti sono riportati in tabella. Sono state assunte buone caratteristiche di drenaggio.

STRATI	Spessore s_i (mm)	Coefficiente drenaggio (d_i)	Coefficiente spessore (a_i)	$s_i \cdot d_i \cdot a_i$	CBR	M_R (psi)
Sottofondo					12,00	16815,50
Fondazione	300	1	0,12	36,00		
Base cementata				0,00		
Base bitumata	80	1	0,18	14,40		
Collegamento	60	1	0,40	24,00		
Usura	40	1	0,45	18,00		
				92,40		

Il tipo di materiale usato per realizzare gli strati della sovrastruttura e lo spessore degli strati stessi incide sulla capacità portante della sovrastruttura. Questa caratteristica strutturale è rappresentata dall'indice di struttura, SN, che si calcola nel modo seguente:

$$SN = SNSG + 0.0394 \sum_i a_i s_i d_i$$

$$SNSG = 3.51 \lg(CBR) - 0.85 [\lg(CBR)]^2 - 1.43$$

dove:

- s_i sono gli spessori degli strati;
- a_i sono dei coefficienti tabellati in funzione del tipo di materiale;
- d_i sono dei coefficienti di drenaggio tabellati in funzione della qualità del drenaggio e del tempo di esposizione a condizioni di saturazione;
- CBR è la portanza del sottofondo.

Da cui:

$$SNSG = 3.51 \cdot \log(5) - 0.85 \cdot [\log(5)]^2 - 1.43 = 1.368$$

$$SN = 0.608 + 0.0394 \cdot 120.50 = 5.008$$

Dalla tabella 9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni per una strada una strada extraurbana a forte traffico tipo III CNR (tipo B secondo il N.C.S.) è indicato un valore di affidabilità $R = 90\%$ a cui corrisponde un valore di $Z_R = -1.282$.

Per un valore $s_0 = 0.45$ dalla tabella EE. 9 si ricava $F_R = 3.77$. il fattore da considerare nell'espressione di dimensionamento è $Z_R \cdot S_0 = 1.282 \cdot 0.45 = -0.5769$. Il valore negativo significa che, a parità di altre condizioni, il numero di ESAL supportabile diminuisce. Se si volesse una migliore affidabilità il fattore $Z_R \cdot S_0$ diminuisce ulteriormente così come il numero di assi supportabile (ESAL).

La procedura di dimensionamento si conclude verificando che i carichi supportabili siano maggiori di quelli previsti, per il livello di affidabilità assunto.

Nell'ipotesi di un sottofondo con un CBR = 12% è possibile assumere un valore di $M_R = 10 \cdot CBR = 120$ MPa che corrispondono a $M_R = 16815$ psi.

Si ipotizza inoltre che inizialmente il PSI sia pari a 4.8 e al limite della vita utile sia decaduto a 2.66. Sostituendo nella formula di dimensionamento i valori ricavati dagli esempi parziali sviluppati nelle precedenti pagine si ricava:

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

$$\log W_{18} = 7.985 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{W_{18} = 96.611.229 \ 15.905.480}$$

8) Conclusioni

Dal confronto del transito ammissibile W_{18} con il transito complessivo previsto nella vita utile della pavimentazione corrispondente a 20 anni la sovrastruttura stradale risulta idonea e abbondantemente sovradimensionata.