



Comune di
**S. ANGELO DI
PIOVE DI SACCO**

Provincia di Padova

PROGETTO DEFINITIVO

**REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA ALL' INTERSEZIONE
DELLA S.S. 516 "Piovese" CON VIA SAN POLO E VIA ARDONEGHE**

AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO DEFINITIVO

Allegato n°

B.3

RELAZIONE GEOTECNICA E DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA
DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI

SIA Studio Ingegneria & Architettura



DANILLO TOMASELLA
Ingegnere

MICHELANGELO BONOTTO
Architetto

35128 **PADOVA** Via Domenico Turazza, 48/Q - scala D - int. 5/6
Tel. 049/8715216 - Fax 049/8079157 - E mail: siaing@tin.it - PEC: siaing@pec.it

Progettista:

Dott. Ing. DANILLO TOMASELLA



Data:	Aggiornato:	Pratica: 582D-INT15	File: 582D-AGG_B_3_CC_RPS
Operatore: SS - SIA	Verificato: Ing. DANILLO TOMASELLA	Approvato: Ing. DANILLO TOMASELLA	Responsabile del Procedimento: Arch. RENATO BARBIERATO

Comune di SANT'ANGELO DI PIOVE DI SACCO



PROGETTO DEFINITIVO
Aggiornamento 2017

**REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA
ALL'INTERSEZIONE DELLA S.S. 516 “Piovese”
CON VIA SAN POLO E VIA ARDONEGHE**

***DIMENSIONAMENTO E VERIFICA
DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE***

INDICE

1 – PREMESSE.....	3
2 – DEFINIZIONE DEL PACCHETTO STRADALE	4
3 – DEFINIZIONE DELLA PORTANZA DEL PACCHETTO STRADALE.....	5
3.1 – IL METODO AAASHTO 1993.....	5
3.2 – VERIFICA DEL PACCHETTO STRADALE DI PROGETTO	12

1 – PREMESSE

La presente "Relazione di dimensionamento e verifica della pavimentazione stradale" si inserisce a corredo del Progetto Definitivo – Aggiornamento 2017 - relativamente all'intervento denominato: "REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA ALL'INTERSEZIONE DELLA S.S. 516 "Piovese" CON VIA SAN POLO (S.P. 40 dir "dei Viva") E VIA ARDONEGHE" a confine dei Comuni di Sant'Angelo di Piove di Sacco, Brugine e Legnaro (PD) .

Il Progetto prevede la realizzazione delle seguenti opere:

1. La costruzione di una rotatoria in luogo dell'incrocio a raso, all'intersezione tra la S.P. 516 "Piovese" e le vie San Polo (S.P. 40 "dei Viva" dir) e Ardoneghe, completa delle opere di canalizzazione (aiuole spartitraffico);
2. la realizzazione di un tratto di pista ciclabile sul lato di Via San Polo in direzione Sant'Angelo di Piove di Sacco e marciapiede sul lato di via Ardoneghe, fino ai rispettivi attraversamenti pedonali a distanza di sicurezza dalla rotatoria;
3. Il rifacimento dell'impianto di illuminazione pubblica, in corrispondenza della rotatoria e lungo le direttrici afferenti all'intersezione, mediante installazione di punti luce a led;
4. L'adeguamento della rete di invaso e smaltimento delle acque meteoriche (risezionamento dei fossi esistenti e realizzazione di nuovi fossi di guardia, caditoie con recapito alla rete esistente e di progetto).

Le opere si intendono inoltre complete:

- dei dispositivi di delimitazione e segnalazione dei percorsi (aiuole di delimitazione, attraversamenti pedonali, apposita segnaletica orizzontale e verticale);
- dei dispositivi per l'abbattimento delle barriere architettoniche (rampe di accesso ai marciapiede).

Nella presente Relazione viene verificato il pacchetto stradale in base ai dati di traffico caratteristici della sede stradale (TGM - Traffico giornaliero Medio, percentuale di veicoli commerciali), all'indice di affidabilità richiesto, agli anni di vita utile e al decadimento limite ammissibile della sovrastruttura, in base al Metodo AAASHTO 1993 (AASHTO Guide Design of Pavement Structures) per la verifica della capacità di supportare i carichi di progetto durante la vita utile della pavimentazione.

2 – DEFINIZIONE DEL PACCHETTO STRADALE

La realizzazione della nuova sede stradale comprende:

- Scotico e scavo di sbancamento per uno spessore minimo di cm 40;
- Posa di un geotessuto con funzioni di anticontaminante e ripartente, nell'eventualità che le prove su piastra in sito diano valori del modulo di deformazione inferiore a 150 Kg/cmq;
- Realizzazione del rilevato fino alla quota di imposta della fondazione stradale negli allargamenti (circa a -50 cm dal piano finito della strada attuale) in materiale da rilevati del tipo A1, A2-4, A2-5, A3;
- Formazione della massicciata stradale comprendente:
 - Realizzazione della fondazione stradale in tout-venant gran. 0÷70, spessore di 20 cm;
 - Sigillatura della fondazione stradale in tout-venant stabilizzato gran. 0÷30, spessore di 5 cm;
 - Finitura della fondazione stradale in misto stabilizzato cementato con cemento in ragione di 100 kg/mc per uno spessore di 20 cm;
- Fresatura e scarifica della superficie stradale per uno spessore di 5 cm circa nei tratti d'unione con la pavimentazione esistente.
- F.p.o. di geomembrana impermeabile antipumping nei tratti di unione tra sede stradale esistente ed allargamenti di progetto;
- Formazione della pavimentazione stradale comprendente:
 - In corrispondenza degli allargamenti, f.p.o. strato di base dello spessore reso di 10 cm;
 - In corrispondenza delle aiuole demolite, f.p.o. strato di base dello spessore reso di 12 cm
 - In corrispondenza degli allargamenti, f.p.o. strato in binder dello spessore reso di 7 cm;
 - Lungo la S.S. 516 "Piovese", f.p.o. manto di usura in conglomerato bituminoso tipo Splittmastix Asphalt (SMA) dello spessore reso di 4 cm;

La riasfaltatura delle sedi stradali esistenti avverrà per una congrua lunghezza su tutti i bracci di immissione nella rotatoria. L'ammorsamento tra la pavimentazione nuova e l'esistente sarà eseguito previa fresatura del tratto terminale della pavimentazione esistente.

3 – DEFINIZIONE DELLA PORTANZA DEL PACCHETTO STRADALE

3.1 – IL METODO AAASHTO 1993

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:

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

1. 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 (ESAL) da 8,20 t (80kN)

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:

- 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 (pd). 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 (pl). 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 4a 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 (8,2 t), la valutazione del traffico cumulato W_{18} in ESAL può essere condotta noto lo spettro di traffico.

2. 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 W_t in ESAL. Inoltre, viene anche assunta una legge di crescita che, per ciascun anno, fornisce il valore cumulato W_t di ESAL transitati sino a quel momento.

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

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

Nel metodo dell'AASHTO l'affidabilità **R (reliability)** viene introdotta attraverso i coefficienti S_0 e Z_R . S_0 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:

$$F_R = \frac{W_t}{W_T} = 10^{-Z_R S_0}$$

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 .

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.

I valori di Z_R in funzione dell'affidabilità R sono riportati nella seguente tabella:

R%	50	60	70	75	80	85	90	92	95	98	99	99.9
Z_R	0.000	-0.253	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405	-1.645	-2.054	-2.327	-3.09

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

3. 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 dei 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.

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

con:

SV = media delle variazioni di pendenza del profilo longitudinale

C = area delle buche e dei rappezzati, 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 teorici variano da valori ottimi pari a 5 all'inizio della vita utile a valori limite di 0 quando l'efficienza della pavimentazione è nulla.

I valori iniziali di PSI difficilmente sono pari a 5. Valori più realistici sono compresi tra **4,5 ÷ 4,8**. Per tener conto delle lievi imperfezioni costruttive, spesso si usa **PSI_i** pari a **4,2**.

Livelli finali di PSI inferiori a **1 ÷ 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.

Come **PSI_f** possono essere assunti i valori riportati nella tabella n° 9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni.

4. 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 spessore 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:

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

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

- a_{usura} = 0.45
 a_{binder} = 0.40
 a_{base} = 0.28
 $a_{misto\ bitumato}$ = 0.21
 $a_{misto\ cementato}$ = 0.18
 $a_{misto\ stabilizzato}$ = 0.13
 $a_{misto\ granulare}$ = 0.11

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 espressione:

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

5. Portanza del sottofondo

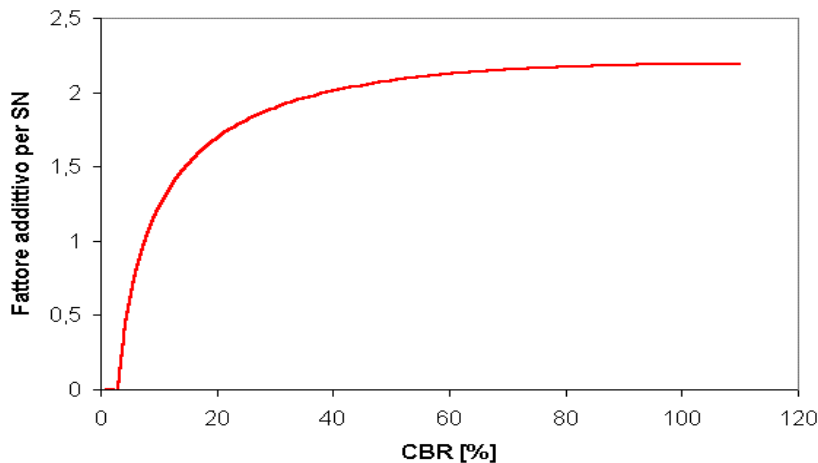
Le caratteristiche del sottofondo vengono considerate nella formula di dimensionamento proposta dall'AASHTO attraverso il modulo resiliente M_R espresso in psi (pound square inch)

Il contributo del sottofondo viene introdotto attraverso la sua capacità portante CBR (California Bearing Ratio) [%]:

$$SNSG = 3.51 \log_{10} CBR - 0.85 (\log_{10} CBR)^2 - 1.43 \quad \text{per } CBR \geq 3$$

$$SNSG = 0 \quad \text{per } CBR < 3$$

Contributo del sottofondo al Numero di Struttura



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) [%].

6. 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.

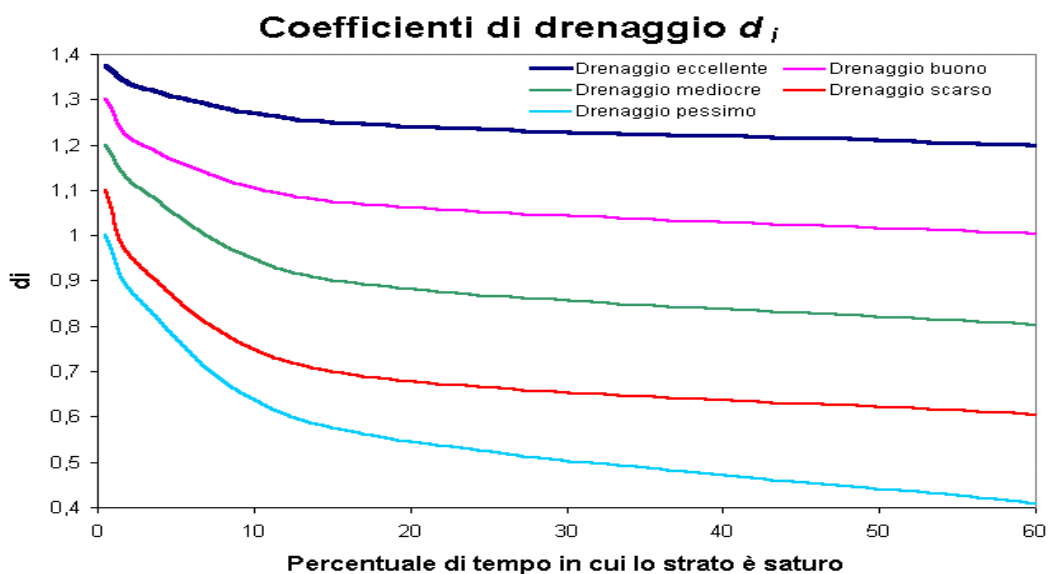
Per gli altri strati i coefficienti di drenaggio sono determinati considerando la qualità del drenaggio e il tempo, in percentuale, che la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicino alla saturazione. L'effetto di un efficiente drenaggio è quello di fornire valori elevati di SN e, pertanto,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

Tab. n°1

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°2

Qualità 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



3.2 – VERIFICA DEL PACCHETTO STRADALE DI PROGETTO

Per la verifica del pacchetto stradale di progetto, si sono assunti i seguenti fattori:

- TGM (Traffico Giornaliero Medio) pari a un Livello di Servizio C (minimo per una Strada Extraurbana Locale) per una velocità di deflusso di 64 km/h (16.800 veicoli/giorno);
- CBR in corrispondenza del piano di posa della fondazione stradale ai fini della sicurezza pari a 6,00 equivalente ad un Modulo di Prova su Piastra pari a 30 MPa (300 kg/cmq).

A) DETERMINAZIONE ANALITICA

TGM =		16.800
Numero giorni commerciali per settimana (gg) =		7
Numero settimane commerciali per anno (n.sett.) =		52
Aliquota di traffico per direzione più carica (pd) =		0,5
Percentuale veicoli commerciali (p) =		0,20
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale (pl) =		1,00
Coefficiente di dispersione delle traiettorie (d) =		0,95
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) =		30
Spettro traffico: distribuzione delle 16 categorie dei veicoli considerati dal Catalogo Italiano delle pavimentazioni.		

B) INDICE DI AFFIDABILITA'

Affidabilità R	90%
Zr =	-1,282
So =	0,45
Fattore correzione	-0,5769

C) DETERMINAZIONE DEL PSI

PSI iniziale	4,80
PSI finale	2,80
ΔPSI	2,00

D) COEFFICIENTI DI SPESSORE

a_{usura}	= 0.45
a_{binder}	= 0.40
a_{base}	= 0.28
$a_{misto\ cementato}$	= 0.18
$a_{misto\ granulare}$	= 0.12

DETERMINAZIONE STRUCTURAL NUMBER (SN)

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					6,00	8407,75
Fondazione	250	1	0,12	30,00		
Base cementata	200	1	0,18	36,00		
Base bitumata	100	1	0,28	28,00		
Collegamento	70	1	0,40	28,00		
Usura	40	1	0,45	18,00		
				140,00		

SNSG = 0,786619426
 SN = SNSG + 0,0394 $\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i$ = **6,302619426**

$\log_{10} W_{18}$ = **8,041659**

Pari ad un transito ammissibile W_{18} :	110.067.382 assi da 8t	
a fronte di un transito complessivo di	64.539.748 assi da 8t	VERIFICATO

Ossia la pavimentazione di progetto è in grado di ammettere un passaggio di circa 147 milioni di assi standard da 8 t fino ad un intervento di manutenzione straordinaria, contro i circa 65 milioni di assi standard previsti durante la vita utile della sovrastruttura.