





# PROLUNGAMENTO DELLA S.S. n°9 "TANGENZIALE NORD di REGGIO EMILIA" NEL TRATTO DA S. PROSPERO STRINATI A CORTE TEGGE

## PROGETTO ESECUTIVO

 <p>Ing. Gianfranco Sodero Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 5666 Y</p>	<p>ING. RENATO DEL PRETE</p> <p>Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p>	<p>DOTT. GEOL. DANILO GALLO</p> <p>Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</p>	<p>INTEGRAZIONE PRESTAZIONI</p> <p>Ing. Renato Del Prete</p>	<p>PROGETTISTA</p> <p>Ing. Gabriele Incecchi (E&amp;G S.r.l.)</p>
			<p>PROGETTAZIONE STRADALE</p> <p>Prof.ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>	<p>PROGETTAZIONE IDRAULICA</p> <p>Ing. Vittorio Ranieri (Uning)</p>
 <p>Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p>	<p>SETAC Srl Servizi &amp; Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p>	 <p>Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p>	<p>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI</p> <p>Ing. Gianfranco Sodero (Studio Corona S.r.l.)</p>	<p>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI</p> <p>Ing. Giampiero Martino (E&amp;G S.r.l.)</p>
			<p>COMPUTI</p> <p>Ing. Valerio Bajetti (I.T. Ingegneria)</p>	<p>CANTIERISTICA</p> <p>Prof.ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>
 <p>Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p>	<p>ECOPLAN Architettura e Urbanistica</p> <p>Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p>	<p>ARKE' INGEGNERIA S.r.l.</p> <p>Ing. Giocchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p>	<p>GEOLOGIA</p> <p>Dott. Danilo Gallo</p>	<p>GEOTECNICA</p> <p>Prof.ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>
			<p>AMBIENTE</p> <p>Dott. Emilio Macchi (ECOPLAN S.r.l.)</p>	<p>SICUREZZA</p> <p>Prof. ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>

VISTO: IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

INTEGRATORE DELLE  
PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE

PROGETTISTA

GEOLOGO

IL COORDINATORE DELLA  
SICUREZZA IN FASE DI  
PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Anna NOSARI

Ing. Renato DEL PRETE

Ing. Gabriele INCECCHI

Dott. Danilo GALLO

Prof. ing. Luigi MONTERISI

DA002

D\_PROGETTO STRADALE

DA\_ASSE PRINCIPALE

Relazione di calcolo della pavimentazione

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	DA002_P00PS00TRARE02_C		
COBO	E	1701	CODICE ELAB. P00PS00TRARE02	C	-
C	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA INTERNA ANAS		DICEMBRE 2018	ING. BUFO	ING. INCECCHI
B	EMISSIONE A SEGUITO DI RAPPORTO INTERMEDIO DI VERIFICA		OTTOBRE 2018	ING. BUFO	ING. INCECCHI
A	PRIMA EMISSIONE		GIUGNO 2018	ING. BUFO	ING. INCECCHI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO
					APPROVATO

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI</b>	<b>2</b>
<b>3. CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE</b>	<b>2</b>
<b>4. PACCHETTI STRADALI ADOTTATI IN QUESTO PROGETTO</b>	<b>3</b>
<b>5. TRAFFICO PREVISTO SULL’INFRASTRUTTURA</b>	<b>4</b>
<b>6. PROGETTO E VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE</b>	<b>5</b>
<b>6.1 VERIFICA (METODO AASHTO)</b>	<b>6</b>
6.1.1 COEFFICIENTI STRUTTURALI	6
6.1.2 AFFIDABILITÀ	9
6.1.3 IL PRESENT SERVICEABILITY INDEX	11
6.1.4 IL NUMERO DI ASSI EQUIVALENTE	11
6.1.5 COEFFICIENTE DI DRENAGGIO	13
<b>7. ESITO DELLE VERIFICHE</b>	<b>14</b>
<b>7.1 ASTA PRINCIPALE – PACCHETTO A</b>	<b>14</b>
<b>7.2 VIABILITA’ SECONDARIA – PACCHETTO B</b>	<b>14</b>
<b>7.3 VIABILITA’ SECONDARIA PACCHETTO C</b>	<b>15</b>
<b>7.4 PACCHETTO MONOSTRATO PER STRADE DI SERVIZIO</b>	<b>15</b>
<b>8. CONCLUSIONI</b>	<b>15</b>
<b>9. SOTTOSCRIZIONE DELL’ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P.</b>	<b>17</b>

## 1. PREMESSA

Questa relazione descrive il dimensionamento e la verifica dei pacchetti delle sovrastrutture stradali previsti nel progetto esecutivo del "Prolungamento della Tangenziale Nord di Reggio Emilia tra S. Prospero Strinati e Corte Tegge".

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI

- Norma AASHTO T274-82
- DM 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"
- Catalogo delle Pavimentazioni stradali del CNR.

## 3. CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

La sovrastruttura o pavimentazione deve avere una stratigrafia idonea a trasmettere al terreno carichi compatibili con la sua portanza.

La portanza è rappresentabile con il modulo resiliente è di primaria importanza per la progettazione della pavimentazione:  $M_R$  è un modulo elastico dinamico che tiene conto soltanto della componente viscosa reversibile  $\varepsilon_R$  della deformazione del materiale.

Si può porre:

$$M_R = \frac{\sigma_D}{\varepsilon_R}$$

dove  $\sigma_D$  è lo sforzo deviatorico della prova triassiale ed  $\varepsilon_R$  è la porzione reversibile della deformazione. Può essere determinato direttamente in laboratorio seguendo le indicazioni della norma statunitense AASHTO T-274-82 (prova di carico ripetuto a compressione triassiale) per il sottofondo ed i materiali non legati; per i materiali stabilizzati con bitume e per gli altri materiali legati, invece, viene determinato con prove a trazione indiretta (ASTM D-4123-82).

Generalmente, si sottopongono in laboratorio provini cilindrici di materiale a stati tensionali di compressione triassiale.

Il provino, posto in una cella triassiale, è soggetto, al generico istante  $t$ , ad una pressione laterale  $\sigma_3$  e sulle basi alla pressione  $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_D$ .

Durante la prova, solitamente, la  $\sigma_3$  rimane costante mentre il deviatore di tensione  $\sigma_D$  varia ciclicamente.

Conseguentemente anche le deformazioni verticali totali varieranno ciclicamente: la differenza, dopo un assegnato numero di cicli, tra la deformazione totale e quella residua individua la deformazione recuperata o "resiliente"  $\varepsilon_R$  (figura 3).

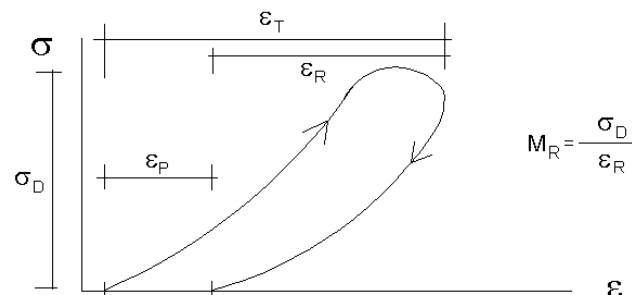


Figura 1: Andamento tipico di una prova per la determinazione del modulo resiliente (Elliott e Thornton, 1988)

La deformazione totale viene misurata all'inizio mentre quella residua al termine della fase di scarico: tra le due letture delle deformazioni trascorre un intervallo di tempo dell'ordine di alcuni

secondi che permette il sostanziale recupero della deformazione elastica viscosa reversibile (elasticità ritardata)<sup>1</sup>.

Generalmente si adottano le correlazioni di Heukelom e Klomp tra il modulo resiliente ed il valore effettivo del CBR:

$$M_R = 100 \cdot CBR [kg / cm^2]$$

Di seguito si riportano a titolo indicativo i valori del modulo resiliente utilizzati nella stesura del Catalogo delle sovrastrutture CNR (B.U. 178/95)<sup>2</sup>.

MR [MPa]	CBR [%]	K [kPa/mm]
150	15	100
90	9	60
30	3	20

**Tabella 1: Modulo resiliente del terreno di sottofondo in funzione dell'indice CBR o del coefficiente di reazione K**

In questo progetto esecutivo per il CBR si fa riferimento, in analogia al progetto definitivo, ad un valore pari a 5, corrispondente ad un modulo resiliente di circa 48 MPa.

#### 4. PACCHETTI STRADALI ADOTTATI IN QUESTO PROGETTO

I pacchetti di sovrastruttura stradale carrabile adottati in questo progetto esecutivo, sono stati differenziati in base alla funzionalità della strada.

Per la viabilità principale, sia di categoria B che di categoria C, è stato adottato un pacchetto cosiddetto A, di spessore totale 68cm.

A seguito delle risultanze dello studio di impatto acustico, per le rampe degli svincoli Rete Due e Modolena e per tutte le viabilità dello svincolo Rete Due, ad esclusione dell'asse S1AS09 è stato utilizzato il pacchetto cosiddetto C, di spessore totale 47 cm.

Per la viabilità secondaria dello svincolo Modolena è stato adottato un pacchetto cosiddetto B, di spessore totale 46cm, ad esclusione della rotatoria S2RT01 e dell'asse S2AS01, per i quali è stato previsto il pacchetto cosiddetto C, con lo strato di usura drenante, a seguito dei risultati emersi dallo studio di impatto acustico.

Per tutte le altre viabilità secondarie, il pacchetto utilizzato è quello cosiddetto B, dello spessore totale di 46 cm.

Per le strade di servizio è stato adottato un pacchetto monostrato in misto granulare stabilizzato di spessore 40cm.

Di seguito si riporta la sintesi dei pacchetti adottati:

<sup>1</sup> GIANNATASIO P., CALIENDO C., ESPOSITO L., FESTA B., PELLECCIA W., *Portanza dei sottofondi*, Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, Napoli, 1990

<sup>2</sup> DOMENICHINI L., GIANNATASIO P., MARCHIONNA A. et alii, *Criteria di dimensionamento delle sovrastrutture di catalogo*, Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, Napoli, 1993

	Spessore (cm)
<b>PACCHETTO A - Asse Principale</b>	
usura cgb drenante	4
binder cgb	7
base misto bitumato	12
base misto cementato	25
fondazione misto granulare stabilizzato	20
spessore totale	68
<b>PACCHETTO B</b>	
usura cgb	3
binder cgb	6
base misto bitumato	12
fondazione misto granulare stabilizzato	25
spessore totale	46
<b>PACCHETTO C</b>	
usura cgb drenante	4
binder cgb	6
base misto bitumato	12
fondazione misto granulare stabilizzato	25
spessore totale	47

Per strade di servizio pacchetto monostrato di spessore 40cm in misto granulare stabilizzato.

## 5. TRAFFICO PREVISTO SULL'INFRASTRUTTURA

La componente di traffico che incide sul calcolo è soltanto quella "pesante", costituita dai veicoli (autocarri, autotreni, autoarticolati, autobus e veicoli speciali) che, per le notevoli pressioni trasmesse al suolo, rappresenta la causa prima dell'ammaloramento e degrado della sovrastruttura stradale, ritenendo trascurabili gli effetti relativi agli altri veicoli (autoveicoli e motoveicoli).

Il TGM considerato nei calcoli alla base del dimensionamento dei vari pacchetti stradali progettati è quello ricavato dal transito del numero di assi da 8ton considerato nel progetto definitivo.

In tale ipotesi, in questo progetto esecutivo si è fatto riferimento a un transito complessivo di assi da 8ton pari a:

- 19'373'742 per la viabilità principale
- 4'698'400 per le rampe e le piste di svincolo.

La vita utile delle opere stradali si intende pari a 20 anni.

Per quanto riguarda la evoluzione del traffico nel corso degli anni (parametro r del calcolo) è alquanto difficile poter prevederne l'esatta evoluzione. In genere si assiste a tassi di crescita maggiori nei primi anni di vita e, successivamente, ad una riduzione 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. Dato che possono esservi, a causa di congiunture economiche, anche fasi di stallo della crescita del traffico o, addirittura, di regresso della stessa, a vantaggio di sicurezza si adotterà un tasso costante, pari all'1%, per tutta la vita utile dell'opera.

Per la distribuzione del traffico per senso di marcia (parametro  $pd$  del calcolo) si può assumere che il TGM si suddivida equamente nelle due direzioni.

Per 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  $30 \div 40\%$ . Valori medi sono compresi intorno al  $10 \div 15\%$ . A vantaggio di sicurezza si assumerà un valore del  $20\%$ , tipico delle aree a vocazione artigianale/industriale quale quella in oggetto.

La percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta ( $pl$ ) viene valutata perché 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 ( $d$ ) viene valutata in funzione del fatto che la traiettoria seguita dalle ruote 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, il che si traduce nell'assegnare il valore  $0.8$  a tale parametro.

Per quanto riguarda le strade di servizio, il TGM di previsione, in assenza di campioni di dati significativi per l'Italia, viene quantificato in analogia a modelli predittivi americani, secondo i quali tali infrastrutture sono considerate a basso volume di traffico e quindi annoverabili fra quelle con TGM non superiori a  $400$  veic/giorno (Guidelines for Geometric Design of Very Low-Volume Local Roads ( $ADT \leq 400$ )). A vantaggio di sicurezza sarà considerato, per le strade di servizio un TGM pari al doppio di quello previsto dalle citate linee guida americane, ovvero di  $800$  veic/giorno, a cui corrisponde un transito complessivo di assi da  $8ton$  pari a  $386'199$ .

La distribuzione dei carichi del traffico commerciale. I veicoli che lo compongono non hanno gli stessi carichi per asse determinando livelli di sollecitazione differenti. La progressione del danno prodotto varia in modo esponenziale con il carico stesso. Per omogeneizzare i risultati si ricorre al concetto di asse equivalente. Nel nostro caso si è fatto riferimento alla distribuzione rappresentata dallo spettro di traffico associato a strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico, come definite dal Catalogo Italiano delle Pavimentazioni.

Il numero medio degli assi di un generico veicolo commerciale 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  $2.7$ . Nel nostro caso considereremo il valore  $2.7$ .

Numero giorni commerciali per settimana ( $gg$ ) =						<b>5</b>
Numero settimane commerciali per anno ( $n.sett.$ ) =						<b>52</b>
Aliquota di traffico per direzione più carica ( $pd$ ) =						<b>0,5</b>
Percentuale veicoli commerciali ( $p$ ) =						<b>0,2</b>
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale ( $pl$ ) =						<b>0,95</b>
Coefficiente di dispersione delle traiettorie ( $d$ ) =						<b>0,8</b>
Numero medio di assi per veicolo commerciale ( $na$ ) =						<b>2,7</b>
Tasso crescita traffico durante la vita utile $r$ =						<b>0,01</b>
Vita utile in anni ( $n$ ) =						<b>20</b>

Con questi dati saranno condotti nel prosieguo della presente relazione la verifica ed il progetto della pavimentazione stradale.

## 6. PROGETTO E VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

L'obiettivo tenuto durante la progettazione della sovrastruttura stradale è stato quello di massimizzare la durabilità della pavimentazione stradale e, in particolare, di abbattere gli oneri di manutenzione della stessa, soprattutto per quanto riguarda l'asta principale.

Per queste ragioni, per la sovrastruttura stradale dell'asta principale, è stato definito un pacchetto stradale semirigido, con l'inserimento di uno strato di base in misto cementato che riduce sensibilmente la frequenza di manutenzione dell'opera a parità di incidenza di traffico mezzi pesanti.

La soluzione proposta, quindi, come predimensionamento per l'**asse principale** della tangenziale prevede i seguenti strati:

#### Pacchetto A

- Tappeto di usura drenante di 4 cm in CGB;
- Binder di 7 cm in CGB;
- Strato di base in misto bitumato di 12 cm;
- Strato di base in misto cementato di 25 cm;
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato di 20 cm.

Lo spessore complessivo della pavimentazione **dell'asse principale** è, dunque, pari a **68 centimetri**.

Le soluzioni proposte come predimensionamento della sovrastruttura della viabilità secondaria sono due:

#### Pacchetto B

- Tappeto di usura di 3 cm in CGB;
- Binder di 6 cm in CGB;
- Strato di base in misto bitumato di 12 cm;
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato di 25 cm.

Lo spessore complessivo della pavimentazione della maggior parte degli assi della **viabilità secondaria, rampe, sottopassi secondari**, ecc. è, dunque, pari a **46 centimetri**.

#### Pacchetto C

- Tappeto di usura drenante di 4 cm in CGB;
- Binder di 6 cm in CGB;
- Strato di base in misto bitumato di 12 cm;
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato di 25 cm.

Lo spessore complessivo della pavimentazione di alcuni assi della **viabilità secondaria e dei sottopassi principali** è, dunque, pari a **47 centimetri**.

La verifica dei pacchetti è stata condotta applicando il metodo AASHTO (1993), calcolando alcuni parametri tenso-deformativi e verificandone l'ammissibilità utilizzando metodologie razionali.

## 6.1 VERIFICA (METODO AASHTO)

### 6.1.1 COEFFICIENTI STRUTTURALI

Il metodo empirico proposto dalla AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), basato sull'osservazione diretta del comportamento di strutture già realizzate, è forse il più utilizzato e ancora oggi sembra assai valido, sebbene sia stato sensibilmente modificato rispetto alla stesura originale del 1960.

Esso fornisce il numero di passaggi  $W_{8.2}$  di un asse "standard" di 8.2 t (80 kN) compatibile con la sovrastruttura stradale.

Il numero di passaggi W8.2 in questione è dato dalla seguente relazione:

$$\log N_{8,2} = Z_R \cdot S_o + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_R - 8.07$$

dove:

SN Structural Number o indice di spessore, espresso in pollici (1" = 2.54 cm);

ZR, Sodeviazioni standard associate all'affidabilità di progetto R;

ΔPSI differenza tra il valore iniziale e finale dell'indice PSI;

MR modulo resiliente effettivo del terreno di supporto, in psi (1 psi = 7.03e-2 kg/cm<sup>2</sup>).

L'indice di spessore SN (structural number) è pari alla somma dei prodotti degli spessori previsti (in pollici) per i coefficienti strutturali propri di ogni materiale:

$$SN = \sum_i s_i \cdot a_i$$



Pavement Layer	Layer Strength Coefficient $a_i$				Cenek and Patrick (1994)
	TRL (1975)	AASHTO (1993)	Paterson (1987)	CRR1 (1993b)	
<i>Surface Courses</i>					
Surface Treatment (ST)			0.20 - 0.40		0.300
Surface Dressing (SSD/DSD)	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			0.300	
Asphalt Concrete (AC), 40/ 25 mm					
AC, MR30 = 1500 MPa			0.300		0.300
AC, MR30 = 2500 MPa			0.400		0.400
AC, MR30 = 4000 MPa			0.500		0.450
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			
<i>Base Courses</i>					
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 = 0.7 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/				0.200	
Built-Up Spray Grout (BUSG)				0.160	
Thin Bituminous Layer, BT				0.140	
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			
<i>Sub-base Courses</i>					
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		

Source: Chakrabarti and Bennett (1994)

I valori dei coefficienti strutturali utilizzati in questo progetto sono riportati di seguito:

- strato di usura drenante in conglomerato bituminoso: 0.45
- strato di usura tradizionale in conglomerato bituminoso: 0.41
- strato di collegamento in conglomerato bituminoso: 0.40
- strato di base in conglomerato bituminoso: 0.20
- strato di base in misto cementato: 0.25
- strato di fondazione in misto granulare stabilizzato: 0.15

### 6.1.2 AFFIDABILITÀ

La affidabilità  $R$  (reliability) esprime la probabilità che il numero di applicazioni di carico  $N_t$  che la struttura può sopportare prima di raggiungere un prefissato grado di ammaloramento finale (PSI<sub>fin</sub>) sia maggiore o uguale al numero di applicazioni di carico  $N_T$  che realmente sono applicati alla sovrastruttura nel periodo di progettazione  $T$  considerato (vita utile):

$$R(\%) = 100 \cdot \text{Pr ob}(N_t \geq N_T)$$

In sintesi  $R$  esprime la probabilità di sopravvivenza della strada in relazione al periodo di vita utile prefissato e le grandezze  $Z_R$  ed  $S_o$  sono strettamente collegate a tale affidabilità.

Si rammenta che per "vita utile" si intende il periodo oltre il quale la degradazione subita dalla strada rende necessari importanti interventi di manutenzione straordinaria, al limite il suo completo rifacimento.

$Z_R$  rappresenta il valore della variabile standardizzata  $\delta_o$  al quale corrisponde la probabilità  $R$  che si abbiano valori ad esso superiori. Considerando l'espressione di  $\delta_o$ , l'affidabilità può essere riscritta come

$$R(\%) = 100 \cdot \text{Pr ob}(\delta_o \geq 0)$$

con  $\delta_o$  variabile aleatoria caratterizzata da una legge di probabilità normale e deviazione standard  $S_o$ . Per quest'ultimo parametro, nel caso di pavimentazioni flessibili solitamente si assume un valore compreso tra 0.40 e 0.50 tenendo conto dell'errore che si commette sul traffico e sulle prestazioni previste per la sovrastruttura.

Nella successiva Tabella 2 si riportano i valori di  $Z_R$  in funzione di  $R$ <sup>3</sup>.

R	ZR	R	ZR	R	ZR
50	0.000	90	-1.282	96	-1.751
60	-0.253	91	-1.340	97	-1.881
70	-0.524	92	-1.405	98	-2.054
75	-0.674	93	-1.476	99	-2.327
80	-0.841	94	-1.555	99.9	-3.090
85	-1.037	95	-1.645	99.99	-3.750

**Tabella 2: Valori della deviazione standard  $Z_R$  associate all'affidabilità di progetto  $R$**

<sup>3</sup> AASHTO, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, 1985

AASHTO Guide 1993

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

Lower Limit of $S_o^2$ Range	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%
$(S_o - .005)^2$	$S_o$	$Z_R = .000$	$Z_R = -.253$	$Z_R = -.524$	$Z_R = -.841$	$Z_R = -1.28$	$Z_R = -1.64$	$Z_R = -2.32$	$Z_R = -3.09$
.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

Il Catalogo Italiano delle Pavimentazioni propone i seguenti valori:

**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

Per la strada in oggetto, assimilabile ad una extraurbana principale a forte traffico, la affidabilità sarà pari al 90%. Conseguentemente  $Z_R = -1.282$  e  $S_0 = 0.50$ .

### 6.1.3 IL PRESENT SERVICEABILITY INDEX

Il "Present Serviceability Index", PSI, rappresenta numericamente il grado di ammaloramento della strada, potendo variare da 0 (pessimo) a 5 (ottimo). Il valore iniziale si assume pari a 4,63 mentre quello finale varia a seconda dei casi: in questa sede, essendo la strada in oggetto una strada extraurbana principale a forte traffico, il valore finale del PSI si può assumere pari a 2.5 ( $\Delta\text{PSI}=2.13$ ).

### 6.1.4 IL NUMERO DI ASSI EQUIVALENTE

Per poter eseguire la verifica è necessario, infine, omogeneizzare il dato relativo al traffico pesante "reale" in termini di assi "standard" da 80 kN calcolando il corrispondente *coefficiente di equivalenza C.E.*.

È evidente, infatti, che i veicoli pesanti presi in esame - autocarro, autotreno, autoarticolato, autobus o veicolo speciale - hanno un diverso impatto al suolo in termini di numero e tipologia di assi (singolo, tandem, tridem) e di carico trasmesso.

Utilizzando la Tabella delle distribuzioni dei carichi per asse proposta nel Bollettino Ufficiale CNR 178/95 (cfr. Tabella 3) è possibile stabilire la conformazione media di qualunque veicolo pesante (VP). Per esempio, un tipo di autocarro pesante (Cat. 6) è dotato di 3 assi: uno singolo da 60 kN ed una coppia di assi tandem da 100 kN ciascuno; un tipo di autotreno (Cat. 12) è dotato di 5 assi: due singoli - 60 e 110 kN - e un gruppo di tre assi da 90 kN ciascuno (triplo).

Le Tabelle pubblicate dalla "AASHTO Guide" (1986), relative ad un valore PSI finale di 2.5, (cfr. Tabelle 4-5-6) forniscono i valori dei coefficienti di equivalenza all'asse standard da 8.2 t di qualsiasi tipo di asse "reale" (singolo, tandem o triplo) in funzione del PSI 2.5 e del carico trasmesso al suolo (in kips - 1 kips = 4.45 kN) e dell'indice di spessore della pavimentazione SN (in pollici).

Cat.	Tipo di Veicolo	Assi	Distribuzione dei carichi per asse [kN]			
1	Autocarri leggeri	2	10		20	
2	"	2	15		30	

3	"	2	40		80		
4	Autocarri medi e pesanti	2	50		110		
5	"	3	40		80+80		
6	"	3	60		100+100		
7	Autotreni ed Autoarticolati	4	40		90	80	80
8	"	4	60		100	100	100
9	"	5	40	80+80			80+80
10	"	5	60	90+90			100+100
11	"	5	40	100			80+80+80
12	"	5	60	110			90+90+90
13	Mezzi d'opera	5	50	120			130+130+130
14	Autobus	2	40		80		
15	"	2	60		100		
16	"	2	50		80		

**Tabella 3: Distribuzione dei carichi per asse dei veicoli commerciali (CNR 178/95)**

Nelle tabelle che seguono si riportano i coefficienti di equivalenza relativi ai diversi tipi di assi (singolo, tandem e triplo) al variare del carico unitario trasmesso al suolo e dell'indice di spessore.

Carico		SN [pollici]					
kips	kN	1"	2"	3"	4"	5"	6"
2.25	10	0.00072	0.00085	0.00076	0.00055	0.00042	0.00042
4.49	20	0.00498	0.00721	0.00721	0.00547	0.00398	0.00373
6.74	30	0.01879	0.02813	0.02961	0.02339	0.01890	0.01716
8.99	40	0.05475	0.07420	0.08414	0.07117	0.06071	0.05523
11.24	50	0.13364	0.16135	0.18662	0.17062	0.15044	0.13935
13.48	60	0.28670	0.31670	0.35512	0.34282	0.31586	0.29915
17.98	80	0.99555	0.99579	0.99615	0.99614	0.99590	0.99572
20.22	90	1.70812	1.66135	1.56669	1.53992	1.58556	1.63458
22.47	100	2.76607	2.64243	2.38751	2.27914	2.38096	2.52933
24.72	110	4.28050	4.03010	3.52928	3.25727	3.41167	3.70568
26.97	120	6.37481	5.95258	5.07910	4.53882	4.71882	5.20556

**Tabella 4: Fattori di equivalenza in funzione del carico per asse (asse singolo)**

Carico		SN [pollici]					
kips	kN	1"	2"	3"	4"	5"	6"
35.96	160	1.37305	1.37348	1.37413	1.37413	1.37370	1.37348
40.45	180	2.33406	2.27503	2.15699	2.12022	2.17699	2.24601
44.94	200	3.77409	3.60572	3.26898	3.12588	3.26006	3.45789

**Tabella 5: Fattori di equivalenza in funzione del carico per asse (asse tandem)**

Carico		SN [pollici]					
kips	kN	1"	2"	3"	4"	5"	6"
53.93	240	1.65153	1.65185	1.65283	1.65283	1.65250	1.65185
60.67	270	2.81210	2.73533	2.59503	2.54827	2.62503	2.70518
87.64	390	15.11526	14.05085	11.70424	10.23983	10.45763	11.72203

**Tabella 6: Fattori di equivalenza in funzione del carico per asse (asse triplo)**

Tipo di Veicolo	Numero Veicoli	Asse Singolo [kN ]	
Autobus	96	40	80
Autocarri medi	2	50	110
Autocarri pesanti	10	15	30
	<b>108</b>		

**Tabella 7: Traffico Giornaliero Medio discretizzato in base alle Categorie (CNR): ad ognuna di esse corrisponde una configurazione di assi, diversa per numero, tipologia e carico [kN]**

Operativamente, il traffico pesante giornaliero è stato discretizzato sulla base degli assi, diversi per numero, carico e tipologia. Pertanto, i 96 autobus (cat. 14 CNR) verranno rappresentati da due assi singoli, uno da 40 e uno da 80 kN; i 2 autocarri medi (cat. 4 CNR) da due assi singoli da 50 e 110 kN e i 10 autocarri leggeri (cat. 2 CNR) da due assi singoli da 15 e 30 kN (cfr. Tabella 7).

Ad ognuno di questi diversi assi, sempre distinti per tipo e carico, tramite le Tabelle 4-6 sono stati associati i C.E. (al variare di SN): è stato possibile, in tal modo, conoscere l'equivalente numero di assi standard. Sommando tutti gli assi standard e confrontando il risultato, variabile in funzione dell'indice di spessore, con il numero dei veicoli pesanti (108) si sono calcolati i valori di C.E. in funzione di SN. Ricordiamo che l'indice di spessore previsto per la pavimentazione è pari a:

- 6.71" per l'asse principale;
- 4,44" per le strade di servizio a destinazione particolare.

Come evidenziato nella tabella 8, il valore di C.E. risulta essere pari a 1.012 per SN=4" e pari a 1.007 per SN=6".

Carico per Asse Singolo [kN]	Numero Totale Assi Singoli (reali)	Assi Standard Equivalenti	
		SN = 4"	SN=6"
15	10	0.02	0,021
30	10	0.23	0,172
40	96	6.93	5,302
50	2	0.34	0,279
80	96	95.63	95,589
110	2	6.51	7,411
<b>Totale Assi Standard Equivalenti</b>		<b>109.32</b>	<b>108,774</b>
<b>Numero Totale Veicoli Pesanti/giorno</b>		<b>108</b>	
<b>C.E.</b>		<b>1.012</b>	<b>1,007</b>

**Tabella 8: Quadro riassuntivo del calcolo del coefficiente di equivalenza C.E. i cui valori sono stati ottenuti dividendo gli assi standard equivalenti per il numero dei veicoli pesanti**

Attraverso una interpolazione lineare è possibile ricavare i coefficienti di equivalenza relativi agli indici di spessore dei tre pacchetti di progetto. In particolare otteniamo:

- C.E.= 1,011 per l'asse principale;
- C.E.= 1,009 per le strade di servizio a destinazione particolare.

### 6.1.5 COEFFICIENTE DI DRENAGGIO

Nella AASHTO (Design Guide versione 1986 e1993) i coefficienti di drenaggio sono usati per modificare il valore del coefficiente di spessore ai 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.

## 7. ESITO DELLE VERIFICHE

Con i dati su riportati, la formula AASHTO fornisce, per ciascuno dei pacchetti predimensionati in precedenza, i seguenti valori di verifica:

### 7.1 ASTA PRINCIPALE – PACCHETTO A

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					<b>5,00</b>	7006,46
Fondazione	<b>200</b>	<b>1</b>	<b>0,150</b>	30,00		
Base cementata	<b>250</b>	<b>1</b>	<b>0,25</b>	62,50		
Base bitumata	<b>120</b>	<b>1</b>	<b>0,20</b>	24,00		
Collegamento	<b>70</b>	<b>1</b>	<b>0,40</b>	28,00		
Usura	<b>40</b>	<b>1</b>	<b>0,45</b>	18,00		
				<b>162,50</b>		
SNSG =					0,608109508	
<b>SN = SNSG + <math>\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i</math> =</b>					<b>7,010609508</b>	
$\text{Log}_{10} W_{82} =$	<b>8,225022</b>				8,225021893	
<b>Pari ad un transito ammissibile <math>W_{82}</math> :</b>				<b>167'888'865</b>	<b>assi da 8t</b>	
<b>a fronte di un transito complessivo di</b>				<b>19'372'742</b>	<b>assi da 8t</b>	<b>VERIFICATO</b>

### 7.2 VIABILITA' SECONDARIA – PACCHETTO B

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)	$M_R$ (N/mm <sup>2</sup> )
Sottofondo					<b>5,00</b>	7006,46	
Fondazione	<b>250</b>	<b>1</b>	<b>0,150</b>	37,50			
Base cementata	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0,25</b>	0,00			
Base bitumata	<b>120</b>	<b>1</b>	<b>0,20</b>	24,00			
Collegamento	<b>60</b>	<b>1</b>	<b>0,40</b>	24,00			
Usura	<b>30</b>	<b>1</b>	<b>0,41</b>	12,30			
				<b>97,80</b>			
SNSG =					0,608109508		
<b>SN = SNSG + <math>\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i</math> =</b>					<b>4,461429508</b>		
$\text{Log}_{10} W_{82} =$	<b>6,728849</b>				6,728849254		
<b>Pari ad un transito ammissibile <math>W_{82}</math> :</b>				<b>5.356.107</b>	<b>assi da 8t</b>		
<b>a fronte di un transito complessivo di</b>				<b>4.698.400</b>	<b>assi da 8t</b>	<b>VERIFICATO</b>	

### 7.3 VIABILITA' SECONDARIA PACCHETTO C

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)	$M_R$ (N/mmq)
Sottofondo					<b>5,00</b>	7006,46	
Fondazione	250	1	0,150	37,50			
Base cementata	0	1	0,25	0,00			
Base bitumata	120	1	0,20	24,00			
Collegamento	60	1	0,40	24,00			
Usura	40	1	0,45	18,00			
				<b>103,50</b>			
SNSG =					0,608109508		
<b>SN = SNSG + <math>\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i</math> =</b>					<b>4,686009508</b>		
$\text{Log}_{10} W_{82} =$	<b>6,882086</b>				6,882086238		
Pari ad un transito ammissibile $W_{82}$ :			<b>7.622.304</b>	assi da 8t			
a fronte di un transito complessivo di			<b>4.698.400</b>	assi da 8t		<b>VERIFICATO</b>	

### 7.4 PACCHETTO MONOSTRATO PER STRADE DI SERVIZIO

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					<b>5,00</b>	7006,46
Fondazione	400	1	0,150	60,00		
Base cementata	0	1	0,25	0,00		
Base bitumata	0	1	0,20	0,00		
Collegamento	0	1	0,40	0,00		
Usura	0	1	0,45	0,00		
				<b>60,00</b>		
SNSG =					0,608109508	
<b>SN = SNSG + <math>\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i</math> =</b>					<b>2,972109508</b>	
$\text{Log}_{10} W_{82} =$	<b>5,608279</b>				5,608278579	
Pari ad un transito ammissibile $W_{82}$ :			<b>405.769</b>	assi da 8t		
a fronte di un transito complessivo di			<b>386.199</b>	assi da 8t		<b>VERIFICATO</b>

## 8. CONCLUSIONI

In tutti i casi di progetto, il numero di assi cumulati standard equivalenti da 8.2 ton transitanti (valore in azzurro) risulta inferiore al corrispondente valore ammissibile (in verde). Pertanto le verifiche hanno avuto esito positivo.

Per quanto asserito nella trattazione su riportata si avranno i seguenti pacchetti stradali.

#### Pacchetto A

- Tappeto di usura drenante di 4 cm in CGB;
- Binder di 7 cm in CGB;
- Strato di base in misto bitumato di 12 cm;
- Strato di base in misto cementato di 25 cm;
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato di 20 cm.

Lo spessore complessivo della pavimentazione **dell'asse principale** è, dunque, pari a **68 centimetri**.



### Pacchetto B

- Tappeto di usura di 3 cm in CGB;
- Binder di 6 cm in CGB;
- Strato di base in misto bitumato di 25 cm;
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato di 12 cm.

Lo spessore complessivo della pavimentazione della maggior parte degli assi della **viabilità secondaria, sottopassi secondari**, ecc. è, dunque, pari a **46 centimetri**.

### Pacchetto C

- Tappeto di usura drenante di 4 cm in CGB;
- Binder di 6 cm in CGB;
- Strato di base in misto bitumato di 25 cm;
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato di 12 cm.

Lo spessore complessivo della pavimentazione di alcuni assi della **viabilità secondaria, delle rampe e dei sottopassi principali** è, dunque, pari a **47 centimetri**.

**9. SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P.**

STUDIO CORONA S.r.l.

ECOPLAN S.r.l.

---

---

I.T. S.r.l.

E&amp;G S.r.l.

---

---

CONSORZIO UNING

ARKE' INGEGNERIA S.r.l.

---

---

SETAC S.r.l.

ING. RENATO DEL PRETE

---

---

DOTT. DANILO GALLO

---