

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3	SOVRASTRUTTURA STRADALE DI PROGETTO	5
3.1	PORTANZA DEL SOTTOFONDO	6
3.2	MIX DESIGN	7
4	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE	8
4.1	PAVIMENTAZIONE TIPO 1	8
4.1.1	<i>Sovrastruttura stradale di progetto</i>	8
4.1.2	<i>Traffico di progetto</i>	8
4.1.3	<i>Descrizione della verifica attraverso l'AASHTO</i>	9
4.1.4	<i>Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number"</i>	9
4.1.5	<i>Calcolo del traffico in assi standard equivalenti ($N_{8,2ton}$)</i>	13
4.1.6	<i>Calcolo del traffico sopportabile (W_{18})</i>	16
4.1.7	<i>Verifica della sovrastruttura</i>	17
4.2	PAVIMENTAZIONE TIPO 3	17
4.2.1	<i>Traffico di progetto</i>	17
4.2.2	<i>Descrizione della verifica attraverso l'AASHTO</i>	18
4.2.3	<i>Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number"</i>	18
4.2.4	<i>Calcolo del traffico in assi standard equivalenti ($N_{8,2ton}$)</i>	19
4.2.5	<i>Calcolo del traffico sopportabile (W_{18})</i>	22
4.2.6	<i>Verifica della sovrastruttura</i>	23
5	CONCLUSIONI	24

1 PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di Progetto Definitivo relativo al Nuovo Collegamento Palermo–Catania, Lotto 1-2 a doppio binario da Fiumetorto a Lercara Diramazione.

La tratta Fiumetorto–Lercara Diramazione ha un'estensione complessiva di circa 29,7 km e per la sua realizzazione sono previsti, in generale, una serie di interventi sul reticolo viario esistente, fondamentalmente riconducibili ad esigenze di:

- Soppressione passaggi a livello (PL)
- Accesso a Stazioni/Fermate
- Accesso alle opere di pertinenza ferroviaria (aree tecniche, piazzali di emergenza, ecc.)
- Riammagliature delle viabilità rurali esistenti

L'intervento in parola interessa alla pk 2+250 circa un Passaggio a Livello Automatico al km 45+408 L.S. La suddetta interferenza sarà risolta mediante la progettazione della nuova viabilità denominata NV02.

Sono inoltre previste una serie di ricuciture per riammagliare il reticolo viario esistente, sostanzialmente riconducibili a viabilità che in ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 2001, si inquadrano come viabilità a destinazione particolare.

Più nel dettaglio, il presente documento, si riferisce alla descrizione ed alla verifica delle **sovrastrutture stradali** adottate per le viabilità previste in progetto.

In particolare, per la verifica delle pavimentazioni stradali si è adottato il metodo empirico/probabilistico proposto all'interno del manuale di progettazione dell'AASHTO (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures) [D.1].

2 **NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

- [N.1]. D.M. 14-01-18 (NTC-2018) – Norme Tecniche per le Costruzioni
- [N.2]. D.M. 05-11-2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade
- [N.3]. CNR n.178 Settembre 1995 – Catalogo delle pavimentazioni stradali

2.2 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti.

- [D.1]. AASHTO Guide for design of pavement structures
- [D.2]. Portanza dei sottofondi – Fondazione politecnica per il mezzogiorno d’Italia – P. Giannatasio, C. Caliendo, L. Esposito, B. Festa, W. Pellecchia – Napoli, dicembre 1989

3 SOVRASTRUTTURA STRADALE DI PROGETTO

Il Nuovo Codice della Strada classifica le strade in sei diverse tipologie, ognuna delle quali è individuata da una lettera che va da A a F. Tra queste strade e quelle previste attualmente dalle Norme CNR si può stabilire - per quanto riguarda le caratteristiche tecniche, costruttive e funzionali - la corrispondenza riportata in Tabella 1.

NUOVO CODICE DELLA STRADA	NORME CNR
A) Autostrade extraurbane	Strade tipo I e II
Autostrade urbane	Strade primarie
B) Strade extraurbane principali	Strada tipo III
C) Strade extraurbane secondarie	Strada tipo IV, A, V, VI e B
D) Strade urbane di scorrimento	Strade urbane di scorrimento
E) Strade di quartiere	Strade urbane di quartiere
F) Strade extraurbane locali	Strada tipo C
Strade urbane locali	Strade urbane locali

Tabella 1 – Classificazione delle strade secondo il Nuovo Codice della Strada e le Norme CNR

In base alla funzione che la viabilità in progetto, NV02 svolge all'interno del reticolo stradale esistente, essa viene inquadrata ai sensi del D.M. 2001 come segue:

WBS	Descrizione	Comune	Inquadramento funzionale	Viabilità interferita
NV02- Asse 1	Soppressione PL km 45+408 LS	Termini Imerese	Nuova Viabilità DM 2001 (cat. C2)	SS113 / SS120

L'asse 1 della viabilità, rappresenta l'asse principale, mentre i restanti assi (2,4,5) rappresentano i bracci delle intersezioni di tipo rotonda previsti per il riammaglio con il sistema di viabilità esistente. L'asse 7 e l'asse 6 rappresentano viabilità di ricucitura per il ripristino di accesso ai fondi.

In funzione della categoria stradale, sono state adottate le seguenti tipologie di pavimentazioni, riportate in tabella 2 la cui attribuzione alle singole viabilità è riportata nella successiva tabella 3

Tabella 2 – Scelta della tipologia di pavimentazione in funzione della categoria stradale

Spessori strato [cm]	CATEGORIA DI STRADA		
	C2 Extraurbana	F Extraurbana	Destinazione particolare
Usura	5	5	3
Binder	6	4	4
Base	13	12	8
Fondazione	15	15	20

Id Pavimentazione	1	2	3
-------------------	---	---	---

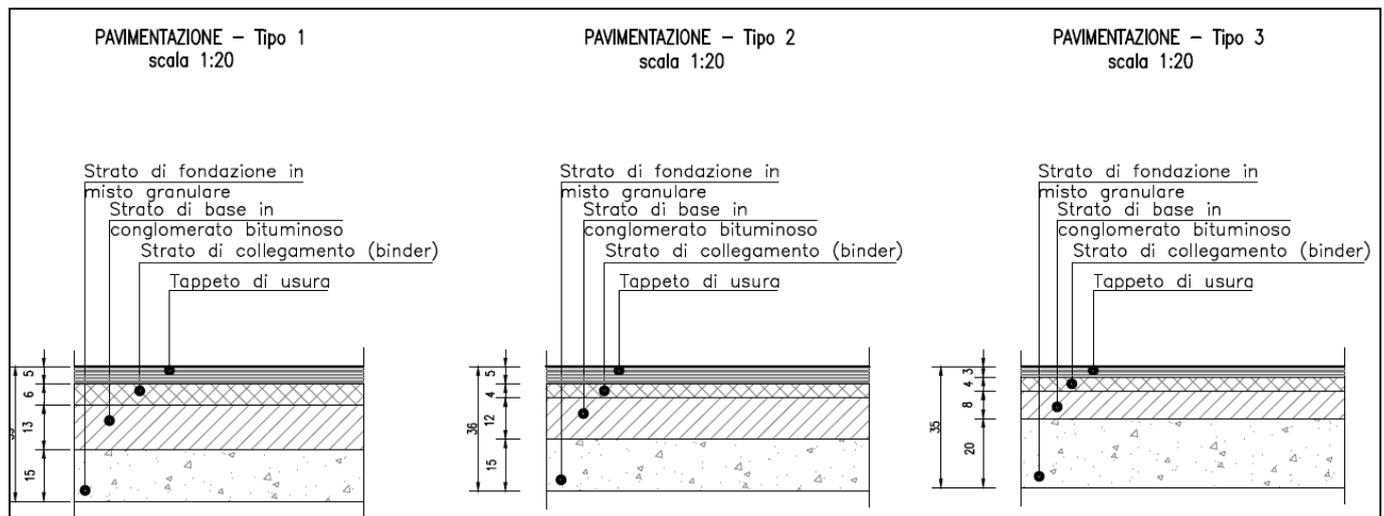
Nel caso di specie, la viabilità ha categoria C2, dunque la pavimentazione di interesse è la 1. Le viabilità di ricicatura sono classificate come strade a destinazione particolare e per le quali dunque vale la pavimentazione di tipo 3.

Si segnala che nella formazione del corpo del rilevato stradale è prevista la realizzazione di uno strato di sottofondazione in terre di categoria A₁, A_{2.4}, A_{2.5} ed A₃ denominato supercompattato di spessore 30cm con modulo di deformazione pari a $M_d = 50\text{MPa}$;

L'inserimento dello strato di sottofondazione, aumentando la rigidità dell'intera sovrastruttura, garantisce una minore deformabilità e in definitiva una maggiore durata. Al fine di ottenere un risultato a favore di sicurezza, nel dimensionamento della sovrastruttura stradale tale strato non verrà preso in considerazione.

Tabella 3 – Tipologia di pavimentazione associata ad ogni viabilità

NV02	1	Tipo 1
NV02	2	Tipo 1
NV02	4	Tipo 1
NV02	5	Tipo 1
NV02	6	Tipo 3
NV02	7	Tipo 3



3.1 PORTANZA DEL SOTTOFONDO

La portanza del sottofondo viene espressa attraverso il Modulo Resiliente M_r [D.2].

Tale modulo può trovarsi, in mancanza di misure dirette, mediante le seguenti correlazioni:

$$M_r = 10 * \text{CBR} (\%)$$

dove:

CBR (% *Californian Bearing Ratio*) = Indice di portanza del sottofondo, tale che sia

$$\text{CBR (\%)} = 0.2 * M_d$$

Il valore del modulo di deformazione del sottofondo deve risultare pari $\geq 50\text{MPa}$ come da Capitolato. A favore di sicurezza nei calcoli si assumerà un valore di $M_d=45\text{MPa}$. Pertanto, si ha che:

$$\text{CBR (\%)} = 0.2 * M_d = 0.2 * 45\text{MPa} = 9$$

$$M_r = 10 * \text{CBR (\%)} = 10 * 9 = 90\text{MPa}$$

Tale valore sarà il riferimento per la definizione della pavimentazione da adottare nella consultazione del catalogo delle pavimentazioni.

3.2 MIX DESIGN

Si rimanda alla tabella materiali presenti nelle sezioni tipo delle viabilità in progetto.

4 VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

La verifica della pavimentazione stradale è stata condotta utilizzando il metodo empirico/probabilistico proposto all'interno del manuale di progettazione dell'AASHTO (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures) [D.1].

Il procedimento consiste nel determinare il numero di assi standard (assi da 8,2ton) che la pavimentazione può sopportare, raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale (PSI_f) che è funzione di vari parametri, quali: le caratteristiche meccaniche dei materiali, gli spessori dei vari strati della pavimentazione, la portanza del sottofondo etc.

I veicoli realmente transitanti sull'infrastruttura si differenziano per il numero, carico e tipologia degli assi, pertanto sarà necessario determinare il numero di assi standard equivalenti, ovvero il numero di assi standard che determinano lo stesso danno dei veicoli realmente transitanti.

Per determinare il numero di assi standard che transiteranno, è necessario stabilire preliminarmente i coefficienti di equivalenza tra ciascun asse reale e quello standard, tali coefficienti sono funzione di alcuni parametri, come le caratteristiche meccaniche dei materiali, gli spessori dei vari strati della pavimentazione e la portanza del sottofondo.

La verifica consiste nel controllare che il numero di assi standard che la pavimentazione può sopportare sia maggiore del numero di assi equivalenti che transitano durante la vita utile della stessa.

4.1 PAVIMENTAZIONE TIPO 1

4.1.1 Sovrastruttura stradale di progetto

Per la scelta della sovrastruttura stradale di progetto, si è proceduto dapprima fissando il Traffico Commerciale, secondo quanto indicato dal Catalogo delle Pavimentazioni Stradali, rispettivamente a:

- 4.000.000 di veicoli corrispondenti al 3° livello per le viabilità di categoria C1 Extraurbana

e successivamente calcolando il Traffico Giornaliero Medio (TGM). Si segnala che sono stati ipotizzati la percentuale di veicoli pesanti (assunta pari al pari al 5%) ed il tasso di incremento annuo del traffico (pari al 2.5%).

Successivamente, sulla base della categoria di traffico assegnata e del valore del modulo resiliente del sottofondo ($M_r = 90\text{MPa}$), è stato definito il pacchetto stradale (tabella 2 e tabella 3).

4.1.2 Traffico di progetto

è assunto un traffico commerciale previsto pari a 4.000.000 di veicoli (corrispondente al 3° livello di traffico richiamato nel catalogo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Pertanto, assunto un traffico commerciale e definiti i seguenti parametri:

- Vita Utile della pavimentazione $N = 20$ anni
- percentuale dei veicoli commerciali $p_c = 5\%$
- tasso incremento annuo traffico commerciale $R = 2.5\%$

si determina il valore del Traffico Giornaliero Medio.

DETERMINAZIONE DEL TGM DAL NUMERO DI PASSAGGI DI VEICOLI COMMERCIALI AL "N" ANNO			
$n_{vca} = TGM_{TOT} \cdot p_{sm} \cdot p_c \cdot p_{corsia} \cdot 365$			
Tipologia di Strada	<i>Extraurbana Secondaria - Ordinarie</i>	C1	
Vita Utile della Pavimentazione	<i>N</i>	20	[anni]
Traffico Giornaliero Medio	<i>TGM</i>	12.257	[veic./gg]
Percentuale traffico nel senso di marcia	<i>p_{sm}</i>	70	[%]
Percentuale veicoli commerciali	<i>p_c</i>	5,0	[%]
Percentuale veicoli commerciali sulla corsia	<i>p_{corsia}</i>	1,0	
Tasso incremento annuo traffico commerciale	<i>R</i>	2,5	[%]
<i>Traffico annuo</i>		<i>n_{vca}</i>	156.589
$T^N = n_{vca} \cdot \left[\frac{(1 + R)^N - 1}{R} \right]$			
<i>Traffico commerciale previsto</i>		T^N	4.000.000

Step 1 – Determinazione del TGM dal numero di passaggi di veicoli commerciali al "N" anno

Si osserva che la percentuale di traffico del senso di marcia assunta pari a 70% (p_{sm}) vuole tenere conto delle possibili diverse ripartizioni stagionali del traffico; inoltre, la percentuale di veicoli commerciali sulla corsia (p_{corsia}) assunta pari ad 1 vuole indicare la presenza di una corsia per senso di marcia.

4.1.3 Descrizione della verifica attraverso l'AASHTO

Si rimanda al §Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..

4.1.4 Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number"

I coefficienti strutturali a_i sono stati calcolati tramite gli abachi proposti della stessa normativa.

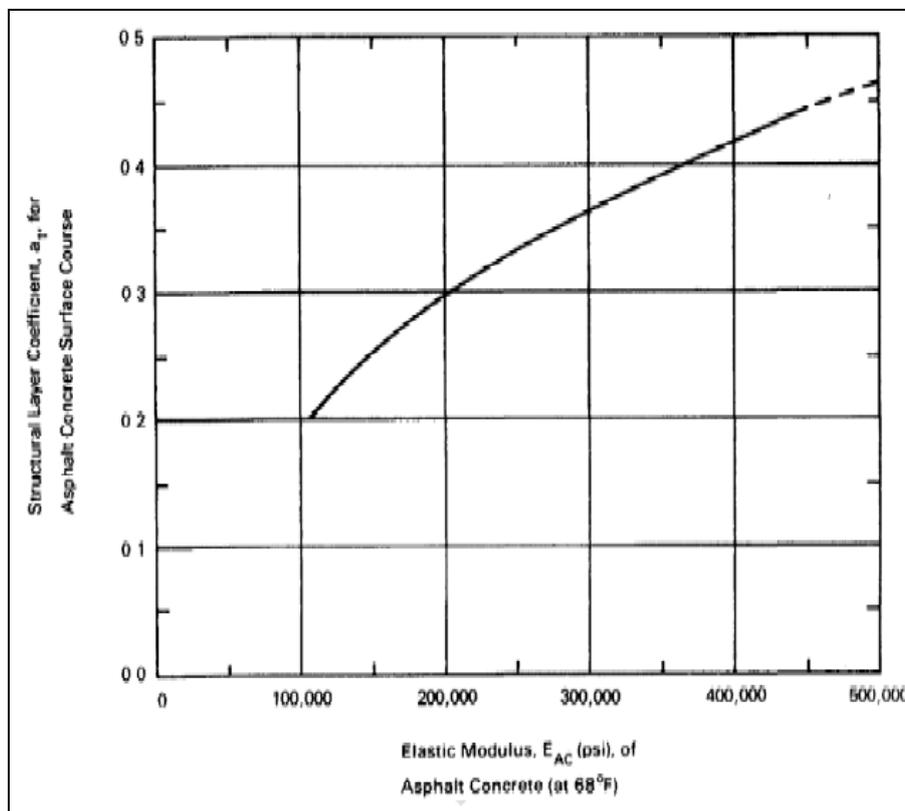
Per il coefficiente dello strato di usura l'AASHTO prevede come dato di input il Modulo Resiliente a 68°F (20°C). il modulo resiliente verrà calcolato tramite la formulazione del modulo complesso:

$$Mr = \beta \cdot |E^*|_{\text{previsionale-medio}}$$

Essendo $\beta = 1$ ci basterà calcolare il modulo complesso previsionale.

Per il calcolo del modulo complesso previsionale è stato utilizzato il metodo proposto dalla Shell francese facendo riferimento ai valori di un bitume di classe 50/70:

Sb [Pa] t.c. E[20°C]	
°C	20
2,15E+07	
α	
9,50E+00	
E [Pa]	
3,13E+09	
E [PSI]	
454.491	



$$E^* = 455 \text{ [PSI]}$$

$$a_1 = 0.45$$

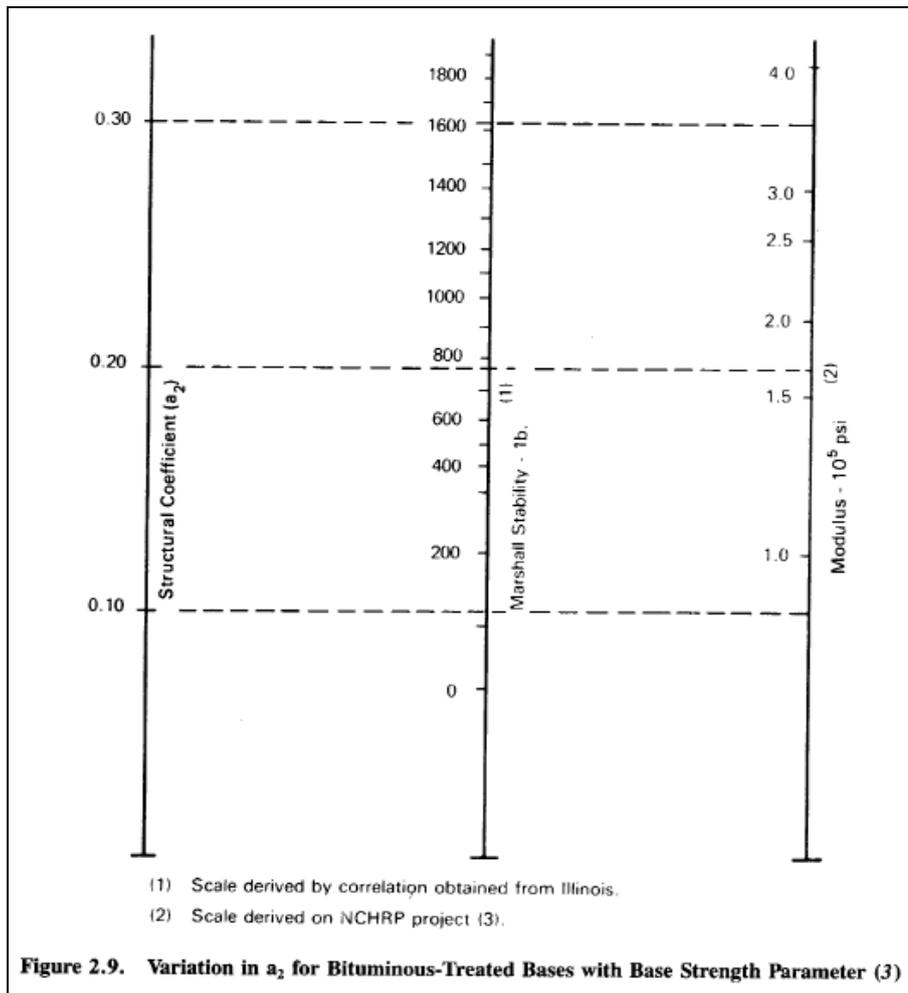
Tale valore viene poi ridotto del 10% nei calcoli, risultando pari a 0.41.

Per il coefficiente dello strato di base il dato di input per entrare nell'abaco è la Stabilità Marshall. Per questa sono stati utilizzati i valori medi tra quelli di Autostrade Spa

Stabilità Marshall	Autostrade		
	S ₇₅ [kg]	S ₅₀ [kg]	S ₅₀ (lb)
Usura	1.100	917	2.017
Collegam.	1.000	833	1.833
Base	800	667	1.467

$$S_{M50} = 1467 \text{ [lb]}$$

$$a_3 = 0.28$$

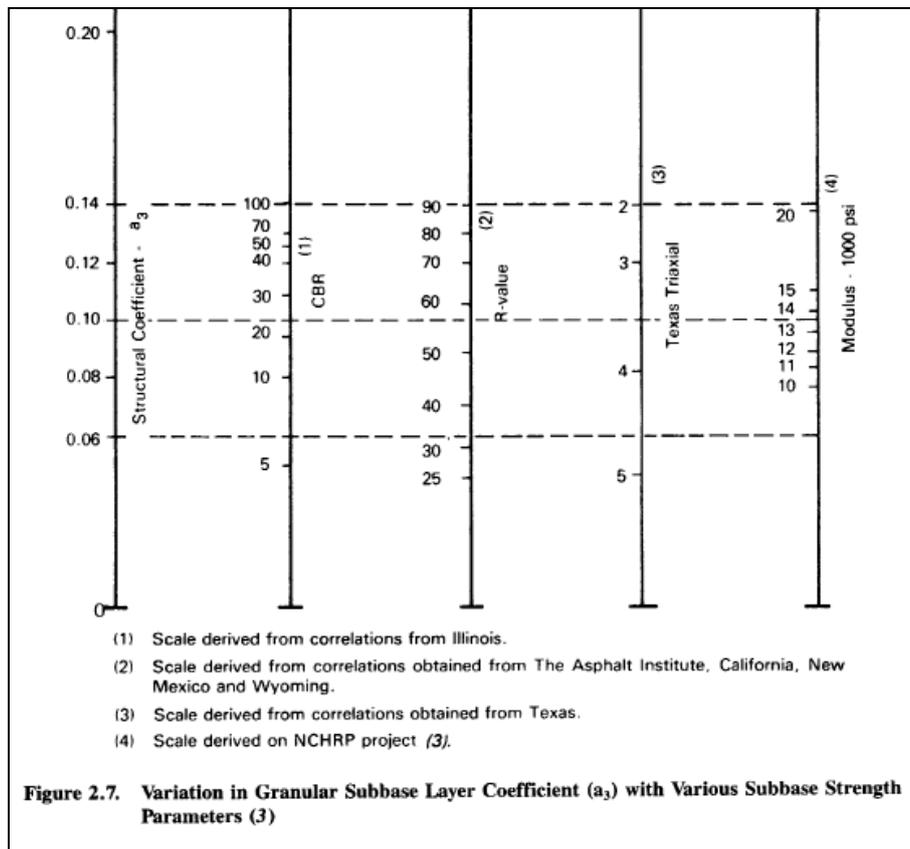


Poiché lo strato di collegamento non è previsto nella configurazione standard impiegata nell'esperimento AASHTO Guide il coefficiente a_2 verrà calcolato interpolando linearmente i coefficienti dell'usura e della base.

$$a_2 := a_{1c} - \frac{a_{1c} - a_{3c}}{\frac{h_1}{2} + h_2 + \frac{h_3}{2}} \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right)$$

$$a_2 = 0.36$$

Per il coefficiente relativo allo strato di fondazione in misto granulare è stato utilizzato il seguente abaco proposto dall'AASHTO Guide:



$$a_4 = 0.11$$

Indice di portanza C.B.R. (CNR UNI 10009) dopo quattro giorni di imbibizione in acqua (eseguito sul materiale passante al crivello UNI 25 mm) non minore di 50, per un intervallo di + 2% rispetto all'umidità ottima di costipamento.

Il calcolo dello Structural Number viene riportato di seguito.

CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER "SN"

$$SN = \sum_i a_i \cdot m_i \cdot S_i$$

Structural Number **SN** **9,31** [cm]

	z_i [cm]	a_i		m_i	
Usura	5	0,41	a ₁		
Collegam.	6	0,36	a ₂		
Base	13	0,28	a ₃	1	m ₁
Fondazione MG	15	0,11	a ₄	0,9	m ₂

Step 2 – Calcolo dello Structural Number SN

4.1.5 Calcolo del traffico in assi standard equivalenti ($N_{8,2ton}$)

Il parametro caratterizzante il traffico è il numero totale di assi singoli da 18 chilo-pounds W_{18} (8.2 tonnellate) equivalenti, agli effetti del deterioramento, a quelli reali caratterizzati da carichi diversi “applicati” alla sovrastruttura nel periodo di esercizio previsto in sede di progetto.

Il valore del termine $N_{8,2t}$ deriva dall’analisi del traffico e dipende dalla categoria della strada e dallo “spettro di traffico dei veicoli commerciali”, costituito dalla distribuzione percentuale delle diverse tipologie di veicoli commerciali che si prevede vi possano transitare.

Per il suddetto spettro, in mancanza di una migliore determinazione, si impiega quello proposto dalle norme CNR 178/1995 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Nel presente caso si associa alla viabilità oggetto di verifica lo spettro di traffico corrispondente al n.5: “*strade extraurbane secondarie*”, richiamato in Tabella:

Tab. 2 - Tipi di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse.

Tipo di veicolo	N° Assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN			
1) autocarri leggeri	2	↓10	↓20		
2) " "	"	↓15	↓30		
3) autocarri medi e pesanti	"	↓40	↓80		
4) " " "	"	↓50	↓110		
5) autocarri pesanti	3	↓40	↓80	↓80	
6) " "	"	↓60	↓100	↓100	
7) autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80	↓80
8) " "	"	↓60	↓100	↓100	↓100
9) " "	5	↓40	↓80	↓80	↓80
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100
11) " "	"	↓40	↓100	↓80	↓80
12) " "	"	↓60	↓110	↓90	↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120	↓130	↓130
14) autobus	2	↓40	↓80		
15) " "	2	↓60	↓100		
16) " "	2	↓50	↓80		

Tab. 3 - Tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada.

Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1) autostrade extraurbane	12.2	----	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	----	----	12.2
2) " urbane	18.2	18.2	16.5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	1.6	18.2	27.3	----
3) strade extr. principali e secondarie a forte traffico	----	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	----	----	10.5
4) strade extraurb. second. ordin.	----	----	58.8	29.4	----	5.9	----	2.8	----	----	----	----	0.2	----	----	2.9
5) " extr. second.-turistiche	24.5	----	40.8	16.3	----	4.15	----	2	----	----	----	----	0.05	----	----	12.2
6) " urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	1.6	18.2	27.3	----
7) " " di quartiere e locali	80	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	20	----	----
8) corsie preferenziali	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	47	53	----

Utilizzando quindi il criterio definito dall'AASHTO, il traffico è stato convertito in un numero di passaggi di assi standard (8.2 tonnellate) equivalenti tramite la relazione:

$$N_{8,2} = T^N \cdot C_{SN}$$

dove:

- T^N rappresenta il numero di veicoli commerciali transitante durante la vita utile dell'opera;
- C_{SN} è un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, caratterizzato da un peso P_i e tipologia T_i , e l'asse singolo standard da 8.2 ton.

CALCOLO DEL NUMERO DI PASSAGGI DI ASSI STANDARD EQUIVALENTI

Numero di passaggi di assi standar equivalenti

$$C_{SNi} = C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-A}$$

$$A = \left\{ 4,79 \cdot [\log(18 + 1) - \log(0,225 \cdot P_i \cdot T_i)] + 4,33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*} \right\}$$

$$G = \log\left(\frac{PSI_{in} - PSI_{fn}}{2.7}\right)$$

$$B_i = 0.4 + \left(\frac{0.081 \cdot (0.225 \cdot P_i + T_i)^{3.23}}{\left(\frac{SN}{2.54} + 1\right)^{5.19} \cdot T_i^{3.23}} \right)$$

Structural Number

SN 9,31 [cm]

Peso dell'asse i-esimo

P_i [kN]

T_i 1 asse singolo

2 asse tandem

3 asse tridem

$$C_{SN} = \sum_i (n_i \times C_{SNi})$$

C_{SNi} 1,4406507

$$N_{8,2} = T^N \cdot C_{SN}$$

N_{8,2} 5.762.603

Step 3 – Calcolo del numero di passaggi di assi standard equivalenti

A seguire si riassumono i calcoli svolti:

Tipologia di veicoli	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Tridem [kN]		
	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	80+80	90+90	100+100	80+80+80	90+90+90	130+130+130
1 Autocarri leggeri	1		1															
2 Autocarri leggeri		1		1														
3 Autocarri medi e pesanti					1			1										
4 Autocarri medi e pesanti						1				1								
5 Autocarri pesanti							1						1					
6 Autocarri pesanti								1							1			
7 Autotreni ed autoarticolati					1			2	1									
8 Autotreni ed autoarticolati									1		3							
9 Autotreni ed autoarticolati						1							2					
10 Autotreni ed autoarticolati							1							1	1			
11 Autotreni ed autoarticolati							1			1						1		
12 Autotreni ed autoarticolati								1			1						1	
13 mezzi d'opera						1						1						1
14 autobus							1		1									
15 autobus								1		1								
16 autobus									1		1							

T^N 4.000.000

X	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Ttridem [kN]			
	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	80+80	90+90	100+100	80+80+80	90+90+90	130+130+130	
0,2450	0,245	0,000	0,245	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,408	0,000	0,000	0,408	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1630	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0415	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1220	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,000	0,122	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ	0,2450	0,0000	0,2450	0,0000	0,4080	0,2855	0,0615	0,5300	0,0000	0,0600	0,1630	0,0005	0,0000	0,0000	0,0415	0,0000	0,0000	0,0005	0,0005

	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Ttridem [kN]			
	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	160	180	200	240	270	390	
B	0,40123	0,40322	0,40675	0,42043	0,44655	0,48966	0,55458	0,77008	0,93124	1,13531	1,38795	1,69492	0,77008	0,93124	1,13531	0,77008	0,93124	2,06214	
B _{0,2}	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008	0,77008
A	3,43347	2,81757	2,34584	1,64850	1,14620	0,76364	0,46089	0,00000	-0,18767	-0,35825	-0,51625	-0,66430	-0,13847	-0,32614	-0,49673	-0,21948	-0,40714	-1,02345	
C _{SN}	0,00037	0,00152	0,00451	0,02246	0,07142	0,17233	0,34603	1,00000	1,54052	2,28167	3,28284	4,61632	1,37554	2,11905	3,13854	1,65758	2,55355	10,55481	
n [*] C _{SN}	0,000090	0,000000	0,001105	0,000000	0,029138	0,049200	0,021281	0,530000	0,000000	0,136900	0,535102	0,002308	0,000000	0,000000	0,130249	0,000000	0,000000	0,005277	1,440651
G	-0,200914843																		

4.1.6 Calcolo del traffico sopportabile (W_{18})

L'equazione per la verifica delle pavimentazioni flessibili è la seguente:

$$\text{Log } W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot (\log SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left(\frac{PSI_{in} - PSI_{fin}}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_r - 8.07$$

in cui:

- W_{18} è il numero di passaggi di assi singoli equivalenti da 18 kponds (8.2 t o 80 KN) sopportabile;
- Z_r è il valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R (che è la probabilità che il numero di ripetizioni di carico N_t (max) che portano il valore $PSI = PSI_{fin}$ sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni N_T realmente applicati alla sovrastruttura);
- S_0 è la deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione;
- PSI_{ini} è il grado di efficienza iniziale;
- PSI_{fin} è il grado di efficienza finale;
- M_r è il modulo resiliente del sottofondo [psi] (oss.: 1 MPa = 145 psi);
- SN è lo structural number [inch].

Per quanto riguarda il valore dell'affidabilità R è possibile ricavare il valore della variabile Z_r dalla tabella dell'ASSHTO GUIDE; mentre la variabile S_0 assume un valore medio compreso tra 0.40 e 0.50. Nel caso in esame si è assunto:

CALCOLO DEL NUMERO MASSIMO DI ASSI STANDARD SOPPORTABILI DALLA PAVIMENTAZIONE

Affidabilità	R	80	[%]
	Z_R	-0,841	
	S_0	0,45	
Grado efficienza iniziale	PSI_{iniz}	4,2	
Grado efficienza finale	PSI_{fin}	2,5	
Structural Number	SN	3,66	[poll]
Modulo resiliente del sottofondo	Mr (psi)	13050	[psi]

$$Log W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left(\frac{PSI_{in} - PSI_{fin}}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32 \cdot \log M_r) - 8.07$$

$log W_{18}$	6,89795
$W_{8,2}$	7.905.929

Step 4 – Calcolo del numero massimo di assi standard sopportabili dalla pavimentazione

4.1.7 Verifica della sovrastruttura

Con riferimento all'asse standard da 8.2 ton impiegato nei calcoli ed una vita utile della sovrastruttura stimata in 20 anni si ha che:

- n. di passaggi sopportabili $W_{8,2t} = 7.905.929$
- n. di passaggi previsti $N_{8,2t} = 5.762.603$

Pertanto, poiché $W_{8,2t} > N_{8,2t}$ la sovrastruttura risulta verificata.

4.2 PAVIMENTAZIONE TIPO 3

Si segnala che non essendo trattata nel Catalogo la categoria “destinazioni particolari” si è fatto riferimento ai pacchetti assegnati per le *Strade Urbane di Quartiere e Locali* (Scheda n. 7F).

4.2.1 Traffico di progetto

Si è assunto un traffico commerciale previsto pari a 1.500.000 di veicoli (corrispondente al 4° livello di traffico richiamato nel catalogo [N.3]).

Pertanto, assunto un traffico commerciale e definiti i seguenti parametri:

- Vita Utile della pavimentazione $N = 20$ anni
- percentuale dei veicoli commerciali $p_c = 5\%$
- tasso incremento annuo traffico commerciale $R = 2.5\%$

si determina il valore del Traffico Giornaliero Medio.

DETERMINAZIONE DEL TGM DAL NUMERO DI PASSAGGI DI VEICOLI COMMERCIALI AL "N" ANNO			
$n_{vca} = TGM_{TOT} \cdot p_{sm} \cdot p_c \cdot p_{corsia} \cdot 365$			
Tipologia di Strada	Quartiere	E	
Vita Utile della Pavimentazione	N	20	[anni]
Traffico Giornaliero Medio	TGM	4.597	[veic./gg]
Percentuale traffico nel senso di marcia	p_{sm}	70	[%]
Percentuale veicoli commerciali	p_c	5,0	[%]
Percentuale veicoli commerciali sulla corsia	p_{corsia}	1,0	
Tasso incremento annuo traffico commerciale	R	2,5	[%]
	Traffico annuo	n_{vca}	58.727
$T^N = n_{vca} \cdot \left[\frac{(1 + R)^N - 1}{R} \right]$			
	Traffico commerciale previsto	T^N	1.500.153

Step 5 – Determinazione del TGM dal numero di passaggi di veicoli commerciali al "N" anno

Si osserva che la percentuale di traffico del senso di marcia assunta pari a 70% (p_{sm}) vuole tenere conto delle possibili diverse ripartizioni stagionali del traffico; inoltre, la percentuale di veicoli commerciali sulla corsia (p_{corsia}) assunta pari ad 1 vuole indicare la presenza di una corsia per senso di marcia.

4.2.2 Descrizione della verifica attraverso l'AASHTO

Si rimanda al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

4.2.3 Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number"

Sulla base di quanto descritto nel § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, si riporta qui di seguito il calcolo dello Structural Number

CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER "SN"

$$SN = \sum_i a_i \cdot m_i \cdot S_i$$

Structural Number **SN** **6,88** [cm]

	z_i [cm]	a_i		m_i	
Usura	3	0,41	a ₁		
Collegam.	4	0,36	a ₂		
Base	8	0,28	a ₃	1	m ₁
Fondazione MG	20	0,11	a ₄	0,9	m ₂

Step 6 – Calcolo dello Structural Number SN

4.2.4 Calcolo del traffico in assi standard equivalenti (N_{8,2ton})

Il parametro caratterizzante il traffico è il numero totale di assi singoli da 18 chilo-pounds W₁₈ (8.2 tonnellate) equivalenti, agli effetti del deterioramento, a quelli reali caratterizzati da carichi diversi “applicati” alla sovrastruttura nel periodo di esercizio previsto in sede di progetto.

Il valore del termine N_{8,2t} deriva dall’analisi del traffico e dipende dalla categoria della strada e dallo “spettro di traffico dei veicoli commerciali”, costituito dalla distribuzione percentuale delle diverse tipologie di veicoli commerciali che si prevede vi possano transitare.

Per il suddetto spettro, in mancanza di una migliore determinazione, si impiega quello proposto dalle norme CNR 178/1995 [N.3]. Nel presente caso si associa alla viabilità oggetto di verifica lo spettro di traffico corrispondente al n.7: “strade urbane di quartiere e locali”, richiamato in Tabella:

Tab. 2 - Tipi di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse.

Tipo di veicolo	N° Assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN				
1) autocarri leggeri	2	↓10	↓20			
2) " "	"	↓15	↓30			
3) autocarri medi e pesanti	"	↓40	↓80			
4) " " "	"	↓50	↓110			
5) autocarri pesanti	3	↓40	↓80	↓80		
6) " "	"	↓60	↓100	↓100		
7) autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80	↓80	
8) " "	"	↓60	↓100	↓100	↓100	
9) " "	5	↓40	↓80	↓80	↓80	↓80
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100	↓100
11) " "	"	↓40	↓100	↓80	↓80	↓80
12) " "	"	↓60	↓110	↓90	↓90	↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120	↓130	↓130	↓130
14) autobus	2	↓40	↓80			
15) "	2	↓60	↓100			
16) "	2	↓50	↓80			

Tab. 3 - Tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada.

Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1) autostrade extraurbane	12.2	----	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	----	----	12.2
2) " urbane	18.2	18.2	16.5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	1.6	18.2	27.3	----
3) strade extr. principali e secondarie a forte traffico	----	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	----	----	10.5
4) strade extraurb. second. ordin.	----	----	58.8	29.4	----	5.9	----	2.8	----	----	----	----	0.2	----	----	2.9
5) " extr. second.-turistiche	24.5	----	40.8	16.3	----	4.15	----	2	----	----	----	----	0.05	----	----	12.2
6) " urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	1.6	18.2	27.3	----
7) " " di quartiere e locali	80	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	20	----	----
8) corsie preferenziali	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	47	53	----

Utilizzando quindi il criterio definito dall'AASHTO, il traffico è stato convertito in un numero di passaggi di assi standard (8.2 tonnellate) equivalenti tramite la relazione:

$$N_{8,2} = T^N \cdot C_{SN}$$

dove:

- T^N rappresenta il numero di veicoli commerciali transitante durante la vita utile dell'opera;
- C_{SN} è un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, caratterizzato da un peso P_i e tipologia T_i , e l'asse singolo standard da 8.2 ton.

CALCOLO DEL NUMERO DI PASSAGGI DI ASSI STANDARD EQUIVALENTI

Numero di passaggi di assi standar equivalenti

$$C_{SNi} = C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-A}$$

$$A = \left\{ 4,79 \cdot [\log(18 + 1) - \log(0,225 \cdot P_i \cdot T_i)] + 4,33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*} \right\}$$

$$G = \log\left(\frac{PSI_{in} - PSI_{fn}}{2.7}\right)$$

$$B_i = 0.4 + \left(\frac{0.081 \cdot (0.225 \cdot P_i + T_i)^{3.23}}{\left(\frac{SN}{2.54} + 1\right)^{5.19} \cdot T_i^{3.23}} \right)$$

Structural Number

SN 6,88 [cm]

Peso dell'asse i-esimo

P_i [kN]

T_i 1 asse singolo

2 asse tandem

3 asse tridem

$$C_{SN} = \sum_i (n_i \times C_{SNi})$$

C_{SNi} 0,2211675

$$N_{8,2} = T^N \cdot C_{SN}$$

$N_{8,2}$ 331.751

Step 7 – Calcolo del numero di passaggi di assi standard equivalenti

A seguire si riassumono i calcoli svolti:

Tipologia di veicoli

1	Autocarri leggeri
2	Autocarri leggeri
3	Autocarri medi e pesanti
4	Autocarri medi e pesanti
5	Autocarri pesanti
6	Autocarri pesanti
7	Autotreni ed autoarticolati
8	Autotreni ed autoarticolati
9	Autotreni ed autoarticolati
10	Autotreni ed autoarticolati
11	Autotreni ed autoarticolati
12	Autotreni ed autoarticolati
13	mezzi d'opera
14	autobus
15	autobus
16	autobus

	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Tridem [kN]			
	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	80+80	90+90	100+100	80+80+80	90+90+90	130+130+130	
1	1		1																
2		1		1															
3					1			1											
4						1					1								
5							1							1					
6								1							1				
7					1			2	1										
8									1		3								
9						1								2					
10										1					1	1			
11												1						1	
12													1						1
13							1					1							1
14								1											
15									1			1							
16										1		1							

T^N 1.500.000

CALCOLO DEL NUMERO MASSIMO DI ASSI STANDARD SOPPORTABILI DALLA PAVIMENTAZIONE

Affidabilità	R	80	[%]
	Z_R	-0,841	
	S_0	0,45	
Grado efficienza iniziale	PSI_{iniz}	4,2	
Grado efficienza finale	PSI_{fin}	2,5	
Structural Number	SN	2,71	[poll]
Modulo resiliente del sottofondo	M_r (psi)	13050	[psi]

$$\log W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left(\frac{PSI_{in} - PSI_{fin}}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32 \cdot \log M_r) - 8.07$$

$\log W_{18}$	6,10137
$W_{8,2}$	1.262.909

Step 8 – Calcolo del numero massimo di assi standard sopportabili dalla pavimentazione

4.2.6 Verifica della sovrastruttura

Con riferimento all'asse standard da 8.2 ton impiegato nei calcoli ed una vita utile della sovrastruttura stimata in 20 anni si ha che:

- n. di passaggi sopportabili $W_{8,2t} = 1.262.909$
- n. di passaggi previsti $N_{8,2t} = 331.751$

Pertanto, poiché $W_{8,2t} > N_{8,2t}$ la sovrastruttura risulta verificata.

5 CONCLUSIONI

Il progetto della sovrastruttura stradale è stato condotto dapprima fissando il Traffico Commerciale e successivamente calcolando il Traffico Giornaliero Medio (TGM), secondo quanto indicato dal Catalogo delle Pavimentazioni Stradali. Ai fini del calcolo del TGM sono stati ipotizzati la percentuale di veicoli pesanti e la percentuale del tasso di incremento annuo del traffico.

Successivamente, sulla base della categoria di traffico assegnata e del valore del modulo resiliente del sottofondo ($M_r = 90\text{MPa}$), è stato assegnato il pacchetto stradale prendendo a riferimento le schede contenute nel Catalogo delle Pavimentazioni Stradali [N.3]. Si segnala che non essendo trattata nel Catalogo la categoria in oggetto (strada Locale a destinazione particolare) si è fatto riferimento ai pacchetti assegnati per le *Strade Secondarie Extraurbane - Turistiche* (Scheda n. 7F).

Si è quindi svolta la verifica della sovrastruttura attraverso il metodo empirico/probabilistico proposto all'interno del manuale di progettazione dell'AASHTO (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures); verificando quindi che il numero di passaggi sopportabili $W_{8,2\text{ton}}$ risulti maggiore del numero di passaggi previsti $N_{8,2\text{ton}}$.

Infine, si vuole osservare che la verifica della pavimentazione con il metodo empirico dell'AASHTO vuole rappresentare la indicazione di una prestazione offerta della sovrastruttura sulla base delle assunzioni fatte. Sarà l'Ente gestore della strada che sulla base dei dati di flusso in suo possesso potrà programmare al meglio i cicli di manutenzione al fine di garantire all'utente una sempre corretta fruibilità della sovrastruttura”.