

STRADA STATALE 4 "VIA SALARIA"
**Adeguamento della piattaforma stradale e messa in
sicurezza dal km 56+000 al km 64+000**
Stralcio 1 da pk 0+000 a pk 1+900

PROGETTO ESECUTIVO

COD. RM 368

PROGETTAZIONE: R.T.I.: PROGER S.p.A. (capogruppo mandataria)
PROGIN S.p.A.
S.I.N.A. S.p.A. – BRENG S.r.l.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli n. 23799

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



IL GEOLOGO:
Dott. Geol. Gianluca PANDOLFI ELMI (Progin S.p.A.)
Ordine dei Geologi Regione Umbria n. 467



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Lorenzo INFANTE

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Dott. Ing. Paolo NARDOCCI



PROTOCOLLO

DATA

202_

PROGETTO INFRASTRUTTURA - GENERALE
Relazione tecnica pavimentazione stradale

CODICE PROGETTO

NOME FILE
T01PS00TRARE04_C

REVISIONE

SCALA:

D P R M 3 6 8 E 2 3

CODICE
ELAB.

T 0 1 P S 0 0 T R A R E 0 4

C

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C	Emissione a seguito di validazione e istruttoria ANAS	Febbraio 2024	R. Velotta	A. Grimaldi	L. Infante
B	Emissione a seguito istruttoria ANAS	Luglio 2023	R. Velotta	A. Grimaldi	L. Infante
A	Prima emissione	Dicembre 2022	R. Velotta	A. Grimaldi	L. Infante

Sommario

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	DESCRIZIONE DEL METODO “AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES”	5
4	ASSE PRINCIPALE	6
4.1	NUMERO DI ASSI STANDARD SOPPORTABILE DALLA PAVIMENTAZIONE	6
4.2	NUMERO DI ASSI EQUIVALENTI PREVISTI NELL’ARCO DELLA VITA UTILE DELLA PAVIMENTAZIONE	8
4.2.1	Traffico commerciale previsto	8
4.2.2	Traffico commerciale in assi standard	10
4.3	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE.....	13
5	VIABILITA’ SECONDARIA DI ACCESSO PK 0+375	14
5.1	NUMERO DI ASSI STANDARD SOPPORTABILE DALLA PAVIMENTAZIONE ...	14
5.2	NUMERO DI ASSI EQUIVALENTI PREVISTI NELL’ARCO DELLA VITA UTILE DELLA PAVIMENTAZIONE	16
5.2.1	Traffico commerciale previsto	16
5.2.2	Traffico commerciale in assi standard	17
5.3	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE.....	21

1 PREMESSA

Nella presente relazione è riportata la verifica della pavimentazione stradale prevista nell’ambito Progetto Esecutivo “Strada Statale 4 “via Salaria” - Adeguamento della piattaforma stradale e messa in sicurezza dal km 56+000 al km 64+000 con riferimento al 1° stralcio funzionale (tra progr. 0+000 e progr. 1+900).

L’intervento complessivo previsto in progetto è finalizzato al miglioramento delle caratteristiche funzionali e di sicurezza della S.S. 4 “Salaria” esistente nel tratto compreso tra il km 56+000 ed il km 64+000 e, ai fini del Progetto Esecutivo, risulta suddiviso in 4 stralci funzionali come riportato nella tabella seguente (progressive riferite all’asse di progetto della Carreggiata Nord).

Stralcio funzionale	Progr. in. [m]	Progr. fin. [m]	L [m]
1°	0	1900	1900
2°	1900	3450	1550
3°	3450	5440	1990
4°	5440	7825	2385

Per l’infrastruttura in progetto sono state adottate le seguenti configurazioni della sovrastruttura stradale.

Pavimentazione Asse principale		
Strato	Materiale	Spessore [cm]
usura	conglomerato bituminoso drenante	4
collegamento (binder)	conglomerato bituminoso	6
base	conglomerato bituminoso	18
fondazione	misto granulare	35
		63

Pavimentazione Viabilità secondaria di accesso pk 0+375		
Strato	Materiale	Spessore [cm]
usura	conglomerato bituminoso	4
collegamento (binder)	conglomerato bituminoso	5
base	conglomerato bituminoso	12
fondazione	misto granulare	15
		36

Al fine di conferire elevati standard di sicurezza all’intervento in progetto (adeguamento e messa in sicurezza), la pavimentazione stradale dell’asse principale ha previsto l’impiego di uno strato di usura di tipo drenante, caratterizzato da una maggiore macrorugosità rispetto ad usura in conglomerato bituminoso di tipo chiuso, ovvero da elevate caratteristiche di aderenza.

Per gli strati legati con bitume è previsto l’impiego di conglomerati bituminosi tipo “hard”.

All’interfaccia tra lo strato di usura drenante ed il sottostante strato di collegamento (binder) è prevista, al fine di migliorare l’adesione tra gli strati, l’interposizione di mano d’attacco prevista tramite l’applicazione di bitume modificato “hard” sotto forma di emulsione bituminosa (di caratteristiche prestazionali superiori rispetto ad una mano d’attacco in bitume).

Sulla piattaforma all'interno delle gallerie è previsto l'impiego di conglomerato bituminoso drenante fino a 50 m dagli imbocchi.

In funzione delle caratteristiche del progetto di adeguamento, ed a seguito dell'analisi e valutazione congiunta di tutti gli aspetti progettuali, la soluzione adottata per la pavimentazione stradale ha previsto la demolizione della pavimentazione stradale esistente e la realizzazione di nuova pavimentazione con impiego di materiali vergini.

Per la verifica della pavimentazione è stato utilizzato il metodo empirico-statistico dell'“AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”.

Il metodo consente di determinare il numero di assi standard (l'asse standard è l'asse singolo con ruote gemelle da 18 Kpounds = 8,2 t = 80 kN) che la pavimentazione può sopportare raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale (PSI_f). Il numero di assi standard è confrontato con il traffico dei veicoli commerciali (massa complessiva ≥ 3 t), in assi standard equivalenti, che si stima passerà durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica. 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 pavimentazione.

Nel seguito, dopo aver riportato i riferimenti normativi impiegati (Cap. 2) e la descrizione del metodo di calcolo utilizzato (Cap. 3), viene riportata la verifica della pavimentazione per l'Asse principale (Cap. 4) e per la Viabilità secondaria di accesso pk 0+375 (Cap. 5).

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Per la redazione della presente relazione sono state considerati i seguenti riferimenti normativi:

- D. L. vo 30/04/1992 n. 285: “Nuovo codice della strada”;
- D.P.R. 16/12/1992 n. 495: “Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della Strada”;
- D.M. 05/11/2001: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”;
- CNR - Bollettino Ufficiale - Norme Tecniche - Anno XXIX – N.178: “Catalogo delle pavimentazioni stradali”;

Sono state considerate, inoltre, le indicazioni e prescrizioni riportate nei seguenti documenti:

- AASHTO: “Guide for Design of Pavement Structures”;
- “Portanza dei sottofondi”: Fondazione politecnica per il mezzogiorno d’Italia – P. Giannattasio, C. Caliendo, L. Esposito, B. Festa, W. Pellecchia – Napoli , Dicembre 1989.

3 DESCRIZIONE DEL METODO "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES"

Il metodo "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures" è un metodo empirico-statistico, basato cioè su osservazioni sperimentali dei parametri in gioco, i quali sono opportunamente correlati da funzioni di regressione in modo che i legami funzionali siano fisicamente corretti.

Il metodo consente di determinare il numero di assi standard (l'asse standard è l'asse singolo con ruote gemelle da 18 Kpounds = 8,2 t = 80 kN) che la pavimentazione può sopportare raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale (PSIf). Tale valore è funzione di vari parametri, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, portanza del sottofondo, grado di ammaloramento finale che, per questioni di comfort e sicurezza, la pavimentazione può raggiungere, coefficiente di sicurezza (fissato attraverso l'affidabilità, ovvero la probabilità che la pavimentazione resista al traffico che transita durante la sua vita utile).

Il numero di assi standard deve essere confrontato con il traffico dei veicoli commerciali (massa complessiva ≥ 3 t) che si stima passerà durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica (si dimensiona la corsia più carica, non essendo il traffico pesante equiparato tra le corsie).

Poiché il traffico commerciale che transita su strada è costituito da veicoli che si differenziano per numero di assi, carico per asse e tipologia di asse (singolo, tandem e tridem) è necessario determinare il numero di assi standard equivalenti, ovvero il numero di assi standard che determinano lo stesso danno alla pavimentazione provocato dagli assi dei veicoli reali.

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, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, grado di ammaloramento finale (per quanto riguarda la pavimentazione, carico per asse e tipologia di asse) (per quanto riguarda gli assi stessi). Noti i coefficienti di equivalenza di ciascun asse dei veicoli che compongono il traffico reale, bisogna determinare il coefficiente di equivalenza medio, che è funzione della composizione del traffico sulla strada in esame (ovvero dello spettro di traffico, cioè della frequenza relativa dei vari tipi di veicoli).

Infine, per determinare il numero di assi equivalenti che transiteranno sulla corsia più carica occorre moltiplicare il coefficiente di equivalenza medio per il numero di veicoli commerciali che si stima transiteranno durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica.

Per ottenere il numero di veicoli commerciali che transiteranno sulla corsia più carica della pavimentazione durante la vita utile, bisogna conoscere il TGM (Traffico Giornaliero Medio), la percentuale di veicoli commerciali, la suddivisione del traffico pesante tra le corsie ed il tasso di incremento annuo del traffico.

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 pavimentazione.

4 ASSE PRINCIPALE

4.1 NUMERO DI ASSI STANDARD SOPPORTABILE DALLA PAVIMENTAZIONE

La relazione per il calcolo del traffico sopportabile in termini di assi standard equivalenti da 8,2 t delle pavimentazioni flessibili è la seguente, in cui W_{18} è il numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8,2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione.

$$\text{Log}W_{18} = Z_r \cdot S_o + 9.36 \cdot (\log (SN + 1)) - 0.20 + \frac{\log (PSI_{in} - PSI_{fn})}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_r - 8.07$$

Nel seguito è riportato il significato dei vari parametri della formula ed i relativi valori.

Z_r (valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R)

Z_r è il valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R (che è la probabilità che il numero di ripetizioni di carico N_{Tmax} tali che $PSI=PSI_f$ sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni di carico N_T realmente applicati alla sovrastruttura).

Per le Strade Extraurbane Principali è consigliato un valore di affidabilità pari a **R=90%** in corrispondenza del quale la variabile standardizzata assume il valore **Z_r = -1,282**.

S_o (deviazione standard)

S_o è la deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione.

Per le pavimentazioni flessibili assume un valore compreso **tra 0,40 e 0,50** quando si tiene conto dell'errore che si commette sia sul traffico sia sulla prestazione prevista per una data pavimentazione.

PSI (Present Serviceability Index)

Il parametro PSI (Present Serviceability Index), definisce lo stato limite, ovvero il grado di efficienza della pavimentazione, ed esprime la misura della idoneità di questa ad assicurare la sicurezza della circolazione e le condizioni di confort per gli utenti. Il PSI assume valori numerici compresi tra 0 (strada in pessime condizioni) e 5 (strada in ottime condizioni).

Il grado di efficienza ritenuto generalmente accettabile per le strade Extraurbane Principali, prima che si rendano necessari radicali interventi sulla pavimentazione, è relativo ad un valore **PSI= 2,5**.

Per il grado di efficienza iniziale viene assunto un valore **PSI= 4,2** poiché si tiene conto delle inevitabili imperfezioni costruttive.

Mr (modulo resiliente del sottofondo)

Il modulo resiliente del sottofondo M_r [psi] tiene conto della portanza del sottofondo. Il modulo resiliente è un modulo dinamico che considera il comportamento viscoelastico del materiale costituente il sottofondo. In mancanza di misure dirette, per la determinazione del modulo resiliente può essere utilizzata la seguente correlazione con l'indice CBR:

$$M_r = 1500 * CBR$$

L'indice CBR è correlato al modulo di deformazione M_d [MPa] derivante da prove di carico su piastra attraverso la correlazione:

$$CBR=0,2 * M_d$$

È stato preso in considerazione un valore del modulo di deformazione $M_d = 50$ MPa (pari al valore minimo prescritto dai capitolati ANAS in corrispondenza del piano di posa della fondazione della pavimentazione stradale sia in rilevato sia in trincea). Il calcolo del modulo resiliente del sottofondo M_r sulla base di tali ipotesi è riportato nella tabella seguente.

Mr (modulo resiliente del sottofondo)		
Md [Mpa]	50	Modulo di deformazione
CBR [%]	10	Indice CBR
Mr [Mpa]	100	Modulo resiliente in Mpa
Mr [psi]	15000	Modulo resiliente in psi

Tuttavia, al fine di tener conto delle incertezze dovute all'applicazione del metodo proposto, come alternativa ai metodi razionali, nell'analisi svolta è stato assunto un valore della portanza del sottofondo pari a $M_r=90$ MPa, leggermente più cautelativo ma in linea con il valore medio proposto dal riferimento tecnico costituito dal “Catalogo delle pavimentazioni stradali” (CNR - Bollettino Ufficiale - Norme Tecniche - Anno XXIX – N.178).

Tenendo conto dei fattori di conversione (1 Mpa = 145,03773773 psi), al valore in Mpa assunto per il modulo resiliente ($M_r=90$ Mpa) corrisponde un valore in psi pari a $M_r=13.053$ psi.

Mr (modulo resiliente del sottofondo)		
Mr [Mpa]	90	Modulo resiliente in Mpa
Mr [psi]	13053	Modulo resiliente in psi

SN (structural number)

Lo structural number (indice strutturale) SN [poll] tiene conto della “resistenza strutturale” della pavimentazione ed è funzione degli spessori degli strati s_i , della “resistenza” dei materiali impiegati rappresentata, attraverso i “coefficienti strutturali di strato” a_i , e della loro sensibilità all'acqua rappresentata attraverso i “coefficienti di drenaggio” m_i . L'espressione analitica dello structural number è:

$$SN = s_1 \cdot a_1 \cdot m_1 + s_2 \cdot a_2 \cdot m_2 + \dots + s_n \cdot a_n \cdot m_n$$

Nell'espressione, s_1, s_2, \dots, s_n sono gli spessori degli strati della pavimentazione, a_1, a_2, \dots, a_n sono i coefficienti strutturali degli strati, m_1, m_2, \dots, m_n sono i coefficienti di drenaggio.

Per i coefficienti strutturali ed i coefficienti di drenaggio, i cui valori di riferimento sono desumibili dai nomogrammi dell'AASHTO, sono stati adottati i seguenti valori (corrispondenti a materiali tradizionali):

- $a_{usura\ drenante} = 0,28$
- $a_{binder} = 0,40$
- $a_{base} = 0,28$
- $a_{misto\ granulare} = 0,11$
- $m_{strati\ legati\ con\ bitume} = 1$
- $m_{misto\ granulare} = 0,95$

Il calcolo dello structural number SN è riportato nella tabella seguente.

SN (Structural Number)						
strato	materiale	s_i [cm]	a_i	m_i	$(s_i \cdot a_i \cdot m_i)$ [cm]	
usura	conglomerato bituminoso drenante	4	0,28	1	1,12	
collegamento (binder)	conglomerato bituminoso	6	0,40	1	2,40	
base	conglomerato bituminoso	18	0,28	1	5,04	
fondazione	misto cementato	0	0,18	0,98	0,00	
	misto granulare	35	0,11	0,95	3,66	
		63				
					SN [cm] 12,22	

Il calcolo numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione, determinato sulla base dei parametri di cui sopra, è riportato nella tabella seguente.

Numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione		
R	90%	Affidabilità
Zr	-1,282	Valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R
So	0,45	Deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione
SN [pollici]	4,81	Structural Number
PSI i	4,2	Grado di efficienza iniziale della pavimentazione
PSI f	2,5	Grado di efficienza finale della pavimentazione
Mr [psi]	13053	Modulo resiliente del sottofondo
LogW8.2	7,47	
W8.2	29.284.726	Numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione

4.2 NUMERO DI ASSI EQUIVALENTI PREVISTI NELL'ARCO DELLA VITA UTILE DELLA PAVIMENTAZIONE

4.2.1 Traffico commerciale previsto

Il numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica è pari a:

$$T_n = (TGM \text{ Dir}) \cdot (\% \text{ Pes}) \cdot (N) \cdot (\% \text{ Cor pes}) \cdot [((1+r)^{n-1}) / r]$$

dove:

- (TGM Dir) = traffico giornaliero medio direzionale [veicoli/giorno];
- (% Pes) = percentuale di veicoli commerciali [% TGM Dir];
- (% Cor pes) = percentuale di veicoli commerciali sulla corsia di calcolo [% (%Pes)];
- n = vita utile [anni];
- r = tasso di incremento annuo del traffico [%];
- N = numero di giorni per anno di transito di veicoli commerciali [giorno/anno].

I valori del traffico giornaliero medio direzionale (TGM Dir) e della percentuale di veicoli commerciali (%Pes) sono stati desunti dai risultati delle analisi effettuate per la predisposizione dello studio di impatto viabilistico e verifica di compatibilità trasportistica, di cui allo “Studio di Impatto del Traffico”, sviluppato nella presente fase progettuale, inserito nell’ambito dell’elaborato “STUDIO DEL TRAFFICO-Relazione sullo studio del traffico” (T01SG00GENRE01).

In particolare, con riferimento allo “Scenario di Progetto B”, sono stati considerati i valori riportati nella Tabella 7-14 della “Relazione sullo studio del traffico” e di seguito riportata (TGM bidirezionale pari a circa 14.000 veicoli/giorno per i veicoli leggeri e pari a circa 1.500 veicoli/giorno per i mezzi pesanti).

Calcolo TGM - Traffico Giornaliero Medio - S.S.4 Salaria km 57+893		
	Leggeri	Pesanti
Direzione Nord	536	65
TGM	7452	844
Direzione Sud	474	51
TGM	6590	663
Bidirezionale	1010	116
TGM	14042	1507
TGM Bidirezionale	15549	

Tabella 7-14 -Calcolo del TGM Futuro - Scenario di Progetto B 2030

A partire dai valori di cui sopra, è stata desunta una percentuale di veicoli pesanti pari a %Pes = 10% come riportato nella tabella successiva.

Direzione Nord		Direzione Sud	
Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti
7452	844	6590	663
	10%		9%
8296		7253	
Valori bidirezionali			
Veicoli leggeri		Veicoli pesanti	
14042		1507	
		10%	
15549			

Sulla base delle elaborazioni svolte, i valori di TGM Dir e %Pes corrispondenti al massimo traffico giornaliero medio complessivo direzionale riferito ai veicoli commerciali lungo l’asse principale sono riferiti alla “Direzione Nord” con valori pari a:

- **TGM Dir = 8.296 veicoli/giorno (traffico giornaliero medio direzionale);**
- **%Pes = 10% (percentuale di veicoli commerciali).**

Per quanto riguarda la percentuale di veicoli commerciali sulla corsia di calcolo, tenendo conto che non tutti i veicoli definiti commerciali transitano sulla corsia di marcia (soprattutto quelli con minori carichi per asse raggiungono velocità tali da impegnare anche le altre corsie), è stato ipotizzato che il 95% di tutti i veicoli commerciali transiti sulla corsia di marcia, ovvero % Cor pes = 95%.

La vita utile della pavimentazione è stata assunta pari a n=20 anni.

Per quanto riguarda il tasso di incremento annuo del traffico, è stato considerato un tasso di crescita pari a r=3 %.

Il numero di giorni per anno di transito veicoli commerciali è stato considerato pari N=365.

Il calcolo del numero di veicoli commerciali Tn transitanti durante la vita utile della pavimentazione è riportato nella tabella seguente.

Tn (Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica)

TGM Dir [veicoli/giorno]	8296	Traffico giornaliero medio complessivo direzionale
%Dir	100%	Ripartizione direzionale del TGM
%Pes	10%	Percentuale di veicoli commerciali
%Cor pes	95%	Percentuale di veicoli commerciali sulla corsia di calcolo
r	3%	Tasso di incremento annuo del traffico
n [anni]	20	Numero di anni di vita utile
N [giorni / anno]	365	Numero di giorni per anno di transito veicoli commerciali
Tn	7.863.803	

4.2.2 Traffico commerciale in assi standard

Noto il numero di veicoli commerciali transitanti sulla corsia di calcolo al termine della vita utile, per il calcolo del numero di assi standard equivalenti (18 Kpounds = 8,2 t = 80 kN) agli assi reali (traffico commerciale previsto), sono state prese in considerazione le tipologie di veicoli che costituiscono il parco veicolare commerciale in Italia e gli spettri di traffico prevedibili sulle strade italiane (ovvero la frequenza relativa di ciascun tipo di veicolo) desunti dal Catalogo delle pavimentazioni stradali (B.U. CNR n. 178 del 15/09/1995) e riportati nelle tabelle seguenti.

Tipi di veicoli commerciali, numero di assi e distribuzione dei carichi per asse

Tipo Veicolo	N° Assi			Distribuzione dei carichi per asse o set di assi			
	S	T	Td				
1) AUTOCARRI LEGGERI	2			↓10	↓20		
2) AUTOCARRI LEGGERI	2			↓15	↓30		
3) AUTOCARRI MEDI E PESANTI	2			↓40	↓80		
4) AUTOCARRI MEDI E PESANTI	2			↓50	↓110		
5) AUTOCARRI PESANTI	1	2		↓40	↓↓80÷80		
6) AUTOCARRI PESANTI	1	2		↓60	↓↓100÷100		
7) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	4			↓40	↓90	↓80	↓80
8) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	4			↓60	↓100	↓100	↓100
9) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	1	2		↓40	↓↓80÷80		↓↓80÷80
10) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	1	2		↓60	↓↓90÷90		↓↓100÷100
11) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	2		1	↓40	↓100		↓↓↓80÷80÷80
12) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	2		1	↓60	↓110		↓↓↓90÷90÷90
13) MEZZI D'OPERA	2		1	↓50	↓120		↓↓↓130÷130÷130
14) AUTOBUS	2			↓40	↓80		

Tipo Veicolo	N° Assi			Distribuzione dei carichi per asse o set di assi	
	S	T	Td		
15) AUTOBUS	2			↓60	↓100
16) AUTOBUS	2			↓50	↓80
S = asse standard					
T = asse tandem					
Td = asse tridem					

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) Autostrada extraurbana	12,2	--	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	--	--	12,2
2) Autostrada urbana	18,2	18,2	16,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,8	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 extr. secondarie ordinarie	--	--	58,8	29,4	--	5,9	--	2,8	--	--	--	--	0,2	--	--	2,9
5) Strade extr. secondarie turistiche	24,5	--	40,8	16,3	--	4,15	--	2	--	--	--	--	0,05	--	--	12,2
6) Strade urbane di scorrimento	18,2	18,2	16,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,6	18,2	27,3	--
7) Strade urbane di quartiere e locali	80	--	-	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	20	--	--
8) Corsie Preferenziali	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	47	53	--

Utilizzando il criterio definito dall'AASHTO, il numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile può essere convertito in assi standard attraverso la relazione:

$$N_{8,2} = T_n \cdot C_{SN}$$

dove:

- $N_{8,2}$ = numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile espressi in assi standard da 8,2 t;
- T_n = numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile della pavimentazione;
- C_{SN} = coefficiente di equivalenza dello spettro di traffico.

Il coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale i -esimo, caratterizzato da un peso P_i e da una tipologia T_i è dato da:

$$C_{SNi} = C_{SN} (P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-\left\{4,79 \cdot [\log(18+1) - \log(0,225 \cdot P_i + T_i)] + 4,33 \cdot \log T_i + \frac{G}{Bi} - \frac{G}{B^*}\right\}}$$

dove:

$$G = \log \frac{PSI_i - PSI_f}{2,7} \quad Bi = 0,40 + \frac{0,081 \cdot (0,225 \cdot P_i + T_i)^{3,23}}{\left(\frac{SN}{2,54} + 1\right)^{5,19} \cdot T_i^{3,23}}$$

- $C_{SN} (P_i, T_i, PSI_f)$ = coefficiente di equivalenza tra l'asse i -esimo e l'asse singolo standard da 8,2 t = 80 KN;

- P_i = peso complessivo dell'asse o set di assi (singolo, tandem o tridem) [kN];
- T_i = tipologia dell'asse e assume il valore 1 per assi singoli, 2 per assi tandem e 3 per assi tridem;
- B^* = valore che assume B_i per l'asse singolo da 8,2 t = 80 kN;
- SN = indice strutturale = $\sum_i s_i \cdot a_i \cdot m_i$ [cm].

Pertanto, detta n_i la percentuale, in termini assoluti, relativa del veicolo i -esimo nello spettro considerato, il coefficiente di equivalenza C_{SN} dello spettro di traffico è dato da:

$$C_{SN} = \sum_i (C_{SNi} \cdot n_i / 100)$$

Adottando lo spettro di traffico corrispondente alle Strade extraurbane principali (tipo di strada 3), si ottiene un coefficiente di equivalenza pari a $C_{NS}=2,04$. Il dettaglio del calcolo è riportato nella tabella seguente.

Determinazione del coefficiente di equivalenza tra assi reali ed assi da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sulla base dello spettro di traffico relativo alle Strade Extraurbane Principali riportato nel "Catalogo delle pavimentazioni stradali - BU CNR N.78 del 15/09/1995"

	SN [cm] 12,22	PSI in 4,2	PSI fin 2,5							
Tipo Veicolo	n_i	P_i (kN)	T_i	B_i	G	B^*	A	$CSNi$	$CSNi^* (n_i/100)$	
Autocarri leggeri	1	0	10	1	0,400	-0,201	0,520	3,558	0,0003	0,000
	1	0	20	1	0,402	-0,201	0,520	2,466	0,0034	0,000
	2	13,1	15	1	0,401	-0,201	0,520	2,940	0,0011	0,000
	2	13,1	30	1	0,407	-0,201	0,520	1,758	0,0175	0,002
Autocarri medi e pesanti	3	39,5	40	1	0,415	-0,201	0,520	1,237	0,0579	0,023
	3	39,5	80	1	0,518	-0,201	0,520	-0,001	1,0032	0,396
	4	10,5	50	1	0,429	-0,201	0,520	0,831	0,1477	0,016
	4	10,5	110	1	0,716	-0,201	0,520	-0,527	3,3640	0,353
Autocarri pesanti	5	7,9	40	1	0,415	-0,201	0,520	1,237	0,0579	0,005
	5	7,9	160	2	0,518	-0,201	0,520	-0,140	1,3800	0,109
	6	2,6	60	1	0,449	-0,201	0,520	0,501	0,3152	0,008
	6	2,6	200	2	0,635	-0,201	0,520	-0,511	3,2420	0,084
Autotreni e autoarticolati	7	2,6	40	1	0,415	-0,201	0,520	1,237	0,0579	0,002
	7	2,6	90	1	0,570	-0,201	0,520	-0,199	1,5819	0,041
	7	2,6	80	1	0,518	-0,201	0,520	-0,001	1,0032	0,026
	7	2,6	80	1	0,518	-0,201	0,520	-0,001	1,0032	0,026
	8	2,5	60	1	0,449	-0,201	0,520	0,501	0,3152	0,008
	8	2,5	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,059
	8	2,5	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,059
	8	2,5	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,059
	8	2,5	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,059
	8	2,5	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,059
	8	2,5	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,059
	9	2,6	160	2	0,518	-0,201	0,520	-0,140	1,3800	0,036
	10	2,5	60	1	0,449	-0,201	0,520	0,501	0,3152	0,008
	10	2,5	180	2	0,570	-0,201	0,520	-0,338	2,1760	0,054
	10	2,5	200	2	0,635	-0,201	0,520	-0,511	3,2420	0,081
	11	2,6	40	1	0,415	-0,201	0,520	1,237	0,0579	0,002
11	2,6	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,061	
11	2,6	240	3	0,518	-0,201	0,520	-0,221	1,6630	0,043	
12	2,6	60	1	0,449	-0,201	0,520	0,501	0,3152	0,008	
12	2,6	110	1	0,716	-0,201	0,520	-0,527	3,3640	0,087	
12	2,6	270	3	0,570	-0,201	0,520	-0,419	2,6222	0,068	
Mezzi d'opera	13	0,5	50	1	0,429	-0,201	0,520	0,831	0,1477	0,001
	13	0,5	120	1	0,814	-0,201	0,520	-0,667	4,6482	0,023

Determinazione del coefficiente di equivalenza tra assi reali ed assi da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sulla base dello spettro di traffico relativo alle Strade Extraurbane Principali riportato nel "Catalogo delle pavimentazioni stradali - BU CNR N.78 del 15/09/1995"

SN [cm] 12,22	PSI in		PSI fin							
	4,2	2,5								
Autobus	13	0,5	390	3	0,931	-0,201	0,520	-1,016	10,3856	0,052
	14	0	40	1	0,415	-0,201	0,520	1,237	0,0579	0,000
	14	0	80	1	0,518	-0,201	0,520	-0,001	1,0032	0,000
	15	0	60	1	0,449	-0,201	0,520	0,501	0,3152	0,000
	15	0	100	1	0,635	-0,201	0,520	-0,372	2,3569	0,000
	16	10,5	50	1	0,429	-0,201	0,520	0,831	0,1477	0,016
	16	10,5	80	1	0,518	-0,201	0,520	-0,001	1,0032	0,105
2,04										

Il calcolo numero di veicoli commerciali in assi standard da 8,2 t transitanti durante la vita utile ($N_{8,2} = T_n \cdot C_{SN}$) è riportato nella tabella seguente.

Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica in assi equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)

CSN	2,04	Coefficiente di equivalenza tra assi reali ed assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)
Tn	7.863.803	Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica
N8.2	16.038.396	Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica in assi equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)

4.3 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

La verifica della pavimentazione consiste nel verificare che il numero di assi standard transitanti durante la vita utile della pavimentazione ($N_{8,2}$) risulti inferiore al numero di assi standard sopportabili dalla pavimentazione ($W_{8,2}$).

Dalla tabella riportata di seguito si evince che, essendo $N_{8,2} < W_{8,2}$ **la verifica della pavimentazione è soddisfatta.**

Verifica della pavimentazione

N8.2	16.038.396	Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica in assi equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)
W8.2	29.284.726	Numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione
Esito verifica	verifica soddisfatta	
W8.2 / N8.2	1,83	

5 VIABILITA' SECONDARIA DI ACCESSO PK 0+375

5.1 NUMERO DI ASSI STANDARD SOPPORTABILE DALLA PAVIMENTAZIONE

La relazione per il calcolo del traffico sopportabile in termini di assi standard equivalenti da 8,2 t delle pavimentazioni flessibili è la seguente, in cui W_{18} è il numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8,2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione.

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

Nel seguito è riportato il significato dei vari parametri della formula ed i relativi valori.

Z_r (valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R)

Z_r è il valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R (che è la probabilità che il numero di ripetizioni di carico N_{Tmax} tali che $PSI=PSI_f$ sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni di carico N_T realmente applicati alla sovrastruttura).

Per le Strade Extraurbane Principali è consigliato un valore di affidabilità pari a **R=90%** in corrispondenza del quale la variabile standardizzata assume il valore **$Z_r = -1,282$** .

S_o (deviazione standard)

S_o è la deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione.

Per le pavimentazioni flessibili assume un valore compreso **tra 0,40 e 0,50** quando si tiene conto dell'errore che si commette sia sul traffico sia sulla prestazione prevista per una data pavimentazione.

PSI (Present Serviceability Index)

Il parametro PSI (Present Serviceability Index), definisce lo stato limite, ovvero il grado di efficienza della pavimentazione, ed esprime la misura della idoneità di questa ad assicurare la sicurezza della circolazione e le condizioni di confort per gli utenti. Il PSI assume valori numerici compresi tra 0 (strada in pessime condizioni) e 5 (strada in ottime condizioni).

Il grado di efficienza ritenuto generalmente accettabile per le strade Extraurbane Principali, prima che si rendano necessari radicali interventi sulla pavimentazione, è relativo ad un valore **$PSI_f = 2,5$** .

Per il grado di efficienza iniziale viene assunto un valore **$PSI_i = 4,2$** poiché si tiene conto delle inevitabili imperfezioni costruttive.

Mr (modulo resiliente del sottofondo)

Il modulo resiliente del sottofondo M_r [psi] tiene conto della portanza del sottofondo. Il modulo resiliente è un modulo dinamico che considera il comportamento viscoelastico del materiale costituente il sottofondo. In mancanza di misure dirette, per la determinazione del modulo resiliente può essere utilizzata la seguente correlazione con l'indice CBR:

$$M_r = 1500 * CBR$$

L'indice CBR è correlato al modulo di deformazione M_d [MPa] derivante da prove di carico su piastra attraverso la correlazione:

$$CBR=0,2 * M_d$$

È stato adottato un valore del modulo di deformazione $M_d = 50$ MPa (pari al valore minimo prescritto dai capitolati ANAS in corrispondenza del piano di posa della fondazione della pavimentazione stradale sia in rilevato sia in trincea). Il calcolo del modulo resiliente del sottofondo M_r è riportato nella tabella seguente.

Mr (modulo resiliente del sottofondo)		
Md [Mpa]	50	Modulo di deformazione
CBR [%]	10	Indice CBR
Mr [Mpa]	100	Modulo resiliente in Mpa
Mr [psi]	15000	Modulo resiliente in psi

Tuttavia, al fine di tener conto delle incertezze dovute all'applicazione del metodo proposto, come alternativa ai metodi razionali, nell'analisi svolta è stato assunto un valore della portanza del sottofondo pari a $M_r=90$ MPa, leggermente più cautelativo ma in linea con il valore medio proposto dal riferimento tecnico costituito dal “Catalogo delle pavimentazioni stradali” (CNR - Bollettino Ufficiale - Norme Tecniche - Anno XXIX – N.178).

Tenendo conto dei fattori di conversione (1 Mpa = 145,03773773 psi), al valore in Mpa assunto per il modulo resiliente ($M_r=90$ Mpa) corrisponde un valore in psi pari a $M_r=13.053$ psi.

Mr (modulo resiliente del sottofondo)		
Mr [Mpa]	90	Modulo resiliente in Mpa
Mr [psi]	13053	Modulo resiliente in psi

SN (structural number)

Lo structural number (indice strutturale) SN [poll] tiene conto della “resistenza strutturale” della pavimentazione ed è funzione degli spessori degli strati s_i , della “resistenza” dei materiali impiegati rappresentata, attraverso i “coefficienti strutturali di strato” a_i , e della loro sensibilità all'acqua rappresentata attraverso i “coefficienti di drenaggio” m_i . L'espressione analitica dello structural number è:

$$SN = s_1 \cdot a_1 \cdot m_1 + s_2 \cdot a_2 \cdot m_2 + \dots + s_n \cdot a_n \cdot m_n$$

Nell'espressione, $s_1, s_2, \dots s_n$ sono gli spessori degli strati della pavimentazione, $a_1, a_2, \dots a_n$ sono i coefficienti strutturali degli strati, $m_1, m_2, \dots m_n$ sono i coefficienti di drenaggio.

Per i coefficienti strutturali ed i coefficienti di drenaggio, i cui valori di riferimento sono desumibili dai nomogrammi dell'AASHTO, sono stati adottati i seguenti valori (corrispondenti a materiali tradizionali):

- $a_{usura} = 0,43$
- $a_{binder} = 0,40$
- $a_{base} = 0,28$
- $a_{misto\ granulare} = 0,11$
- $m_{strati\ legati\ con\ bitume} = 1$
- $m_{misto\ granulare} = 0,95$

Il calcolo dello structural number SN è riportato nella tabella seguente.

SN (Structural Number)					
strato	materiale	s_i [cm]	a_i	m_i	$(s_i \cdot a_i \cdot m_i)$ [cm]
usura	conglomerato bituminoso	4	0,43	1	1,72
collegamento (binder)	conglomerato bituminoso	5	0,40	1	2,00
base	conglomerato bituminoso	12	0,28	1	3,36
fondazione	misto granulare	15	0,11	0,95	1,57
		36			
				SN [cm]	8,65

Il calcolo numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione, determinato sulla base dei parametri di cui sopra, è riportato nella tabella seguente.

Numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione		
R	90%	Affidabilità
Zr	-1,282	Valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R
So	0,45	Deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione
SN [pollici]	3,40	Structural Number
PSI i	4,2	Grado di efficienza iniziale della pavimentazione
PSI f	2,5	Grado di efficienza finale della pavimentazione
Mr [psi]	13053	Modulo resiliente del sottofondo
LogW8.2	6,50	
W8.2	3.196.879	Numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione

5.2 NUMERO DI ASSI EQUIVALENTI PREVISTI NELL'ARCO DELLA VITA UTILE DELLA PAVIMENTAZIONE

5.2.1 Traffico commerciale previsto

Il numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica è pari a:

$$T_n = (\text{TGM Dir}) \cdot (\% \text{ Pes}) \cdot (N) \cdot (\% \text{ Cor pes}) \cdot [((1+r)^{n-1}) / r]$$

dove:

- (TGM Dir) = traffico giornaliero medio direzionale [veicoli/giorno];
- (% Pes) = percentuale di veicoli commerciali [% TGM Dir];
- (% Cor pes) = percentuale di veicoli commerciali sulla corsia di calcolo [% (%Pes)];
- n = vita utile [anni];
- r = tasso di incremento annuo del traffico [%];
- N = numero di giorni per anno di transito di veicoli commerciali [giorno/anno].

Per il traffico giornaliero medio direzionale (TGM Dir) e della percentuale di veicoli commerciali (%Pes) sono stati considerati cautelativamente i seguenti valori:

- **TGM Dir = 830 veicoli/giorno (traffico giornaliero medio direzionale) pari al 10% del TGM Dir riferito all'asse principale (8296 veicoli/giorno);**
- **%Pes = 10% (Percentuale di veicoli commerciali) coincidente con il valore %Pes riferito all'asse principale.**

Per quanto riguarda la percentuale di veicoli commerciali sulla corsia di calcolo, tenendo conto che non tutti i veicoli definiti commerciali transitano sulla corsia di marcia (soprattutto quelli con minori carichi per asse raggiungono velocità tali da impegnare anche le altre corsie), è stato ipotizzato che il 95% di tutti i veicoli commerciali transiti sulla corsia di marcia, ovvero % Cor pes = 95%.

La vita utile della pavimentazione è stata assunta pari a n=20 anni.

Per quanto riguarda il tasso di incremento annuo del traffico, è stato considerato un tasso di crescita pari a r=3 %.

Il numero di giorni per anno di transito veicoli commerciali è stato considerate pari N=365.

Il calcolo del numero di veicoli commerciali T_n transitanti durante la vita utile della pavimentazione è riportato nella tabella seguente.

T_n (Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica)		
TGM Dir [veicoli/giorno]	830	Traffico giornaliero medio complessivo direzionale
%Dir	100%	Ripartizione direzionale del TGM
%Pes	10%	Percentuale di veicoli commerciali
%Cor pes	95%	Percentuale di veicoli commerciali sulla corsia di calcolo
r	3%	Tasso di incremento annuo del traffico
n [anni]	20	Numero di anni di vita utile
N [giorni / anno]	365	Numero di giorni per anno di transito veicoli commerciali
T_n	786.380	

5.2.2 Traffico commerciale in assi standard

Noto il numero di veicoli commerciali transitanti sulla corsia di calcolo al termine della vita utile, per il calcolo del numero di assi standard equivalenti (18 Kpounds = 8,2 t = 80 kN) agli assi reali (traffico commerciale previsto), sono state prese in considerazione le tipologie di veicoli che costituiscono il parco veicolare commerciale in Italia e gli spettri di traffico

prevedibili sulle strade italiane (ovvero la frequenza relativa di ciascun tipo di veicolo) desunti dal Catalogo delle pavimentazioni stradali (B.U. CNR n. 178 del 15/09/1995) e riportati nelle tabelle seguenti.

Tipi di veicoli commerciali, numero di assi e distribuzione dei carichi per asse

Tipo Veicolo	N° Assi			Distribuzione dei carichi per asse o set di assi			
	S	T	Td				
17) AUTOCARRI LEGGERI	2			↓10	↓20		
18) AUTOCARRI LEGGERI	2			↓15	↓30		
19) AUTOCARRI MEDI E PESANTI	2			↓40	↓80		
20) AUTOCARRI MEDI E PESANTI	2			↓50	↓110		
21) AUTOCARRI PESANTI	1	2		↓40	↓↓80÷80		
22) AUTOCARRI PESANTI	1	2		↓60	↓↓100÷100		
23) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	4			↓40	↓90	↓80	↓80
24) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	4			↓60	↓100	↓100	↓100
25) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	1	2		↓40	↓↓80÷80		↓↓80÷80
26) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	1	2		↓60	↓↓90÷90		↓↓100÷100
27) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	2		1	↓40	↓100		↓↓↓80÷80÷80
28) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	2		1	↓60	↓110		↓↓↓90÷90÷90
29) MEZZI D'OPERA	2		1	↓50	↓120		↓↓↓130÷130÷130
30) AUTOBUS	2			↓40	↓80		
31) AUTOBUS	2			↓60	↓100		
32) AUTOBUS	2			↓50	↓80		
S = asse standard							
T = asse tandem							
Td = asse tridem							

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
9) Autostrada extraurbana	12,2	--	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	--	--	12,2
10) Autostrada urbana	18,2	18,2	16,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,8	18,2	27,3	--
11) 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
12) Strade extr. secondarie ordinarie	--	--	58,8	29,4	--	5,9	--	2,8	--	--	--	--	0,2	--	--	2,9
13) Strade extr. secondarie turistiche	24,5	--	40,8	16,3	--	4,15	--	2	--	--	--	--	0,05	--	--	12,2
14) Strade urbane di scorrimento	18,2	18,2	16,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,6	18,2	27,3	--
15) Strade urbane di quartiere e locali	80	--	-	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	20	--	--
16) Corsie Preferenziali	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	47	53	--

Utilizzando il criterio definito dall'AASHTO, il numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile può essere convertito in assi standard attraverso la relazione:

$$N_{8,2} = T_n \cdot C_{SN}$$

dove:

- $N_{8,2}$ = numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile espressi in assi standard da 8,2 t;
- T_n = numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile della pavimentazione;
- C_{SN} = coefficiente di equivalenza dello spettro di traffico.

Il coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale i -esimo, caratterizzato da un peso P_i e da una tipologia T_i è dato da:

$$C_{SNi} = C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-\{4,79 \cdot [\log(18+1) - \log(0,225 \cdot P_i + T_i)] + 4,33 \cdot \log T_i + \frac{G}{Bi} - \frac{G}{B^*}\}}$$

dove:

$$G = \log \frac{PSI_i - PSI_f}{2,7} \quad Bi = 0,40 + \frac{0,081 \cdot (0,225 \cdot P_i + T_i)^{3,23}}{\left(\frac{SN}{2,54} + 1\right)^{5,19} \cdot T_i^{3,23}}$$

- $C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f)$ = coefficiente di equivalenza tra l'asse i -esimo e l'asse singolo standard da 8,2 t = 80 kN;
- P_i = peso complessivo dell'asse o set di assi (singolo, tandem o tridem) [kN];
- T_i = tipologia dell'asse e assume il valore 1 per assi singoli, 2 per assi tandem e 3 per assi tridem;
- B^* = valore che assume B_i per l'asse singolo da 8,2 t = 80 kN;
- SN = indice strutturale = $\sum_i s_i \cdot a_i \cdot m_i$ [cm].

Pertanto, detta n_i la percentuale, in termini assoluti, relativa del veicolo i -esimo nello spettro considerato, il coefficiente di equivalenza C_{SN} dello spettro di traffico è dato da:

$$C_{SN} = \sum_i (C_{SNi} \cdot n_i / 100)$$

Adottando lo spettro di traffico corrispondente alle Strade extraurbane principali (tipo di strada 3), si ottiene un coefficiente di equivalenza pari a $C_{NS}=2,05$. Il dettaglio del calcolo è riportato nella tabella seguente.

Determinazione del coefficiente di equivalenza tra assi reali ed assi da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sulla base dello spettro di traffico relativo alle Strade Extraurbane Principali riportato nel "Catalogo delle pavimentazioni stradali - BU CNR N.78 del 15/09/1995"

	SN [cm] 8,65	PSI in 4,2	PSI fin 2,5							
Tipo Veicolo	ni	Pi (kN)	Ti	Bi	G	B*	A	CSNi	CSNi * (ni/100)	
Autocarri leggeri	1	0	10	1	0,402	-0,201	0,906	3,395	0,0004	0,000
	1	0	20	1	0,409	-0,201	0,906	2,310	0,0049	0,000
	2	13,1	15	1	0,404	-0,201	0,906	2,780	0,0017	0,000
	2	13,1	30	1	0,427	-0,201	0,906	1,617	0,0241	0,003
Autocarri medi e pesanti	3	39,5	40	1	0,463	-0,201	0,906	1,123	0,0754	0,030
	3	39,5	80	1	0,898	-0,201	0,906	-0,002	1,0045	0,397
	4	10,5	50	1	0,521	-0,201	0,906	0,749	0,1783	0,019
	4	10,5	110	1	1,729	-0,201	0,906	-0,527	3,3634	0,353
Autocarri pesanti	5	7,9	40	1	0,463	-0,201	0,906	1,123	0,0754	0,006
	5	7,9	160	2	0,898	-0,201	0,906	-0,140	1,3818	0,109
	6	2,6	60	1	0,608	-0,201	0,906	0,454	0,3519	0,009
	6	2,6	200	2	1,389	-0,201	0,906	-0,503	3,1877	0,083
Autotreni e autoarticolati	7	2,6	40	1	0,463	-0,201	0,906	1,123	0,0754	0,002
	7	2,6	90	1	1,115	-0,201	0,906	-0,191	1,5533	0,040
	7	2,6	80	1	0,898	-0,201	0,906	-0,002	1,0045	0,026
	7	2,6	80	1	0,898	-0,201	0,906	-0,002	1,0045	0,026
	8	2,5	60	1	0,608	-0,201	0,906	0,454	0,3519	0,009
	8	2,5	100	1	1,389	-0,201	0,906	-0,365	2,3174	0,058
	8	2,5	100	1	1,389	-0,201	0,906	-0,365	2,3174	0,058
	8	2,5	100	1	1,389	-0,201	0,906	-0,365	2,3174	0,058
	8	2,5	100	1	1,389	-0,201	0,906	-0,365	2,3174	0,058
	8	2,5	100	1	1,389	-0,201	0,906	-0,365	2,3174	0,058
	9	2,6	160	2	0,898	-0,201	0,906	-0,140	1,3818	0,036
	10	2,5	60	1	0,608	-0,201	0,906	0,454	0,3519	0,009
	10	2,5	180	2	1,115	-0,201	0,906	-0,330	2,1366	0,053
	10	2,5	200	2	1,389	-0,201	0,906	-0,503	3,1877	0,080
	11	2,6	40	1	0,463	-0,201	0,906	1,123	0,0754	0,002
	11	2,6	100	1	1,389	-0,201	0,906	-0,365	2,3174	0,060
	11	2,6	240	3	0,898	-0,201	0,906	-0,221	1,6651	0,043
	12	2,6	60	1	0,608	-0,201	0,906	0,454	0,3519	0,009
	12	2,6	110	1	1,729	-0,201	0,906	-0,527	3,3634	0,087
	12	2,6	270	3	1,115	-0,201	0,906	-0,411	2,5747	0,067
Mezzi d'opera	13	0,5	50	1	0,521	-0,201	0,906	0,749	0,1783	0,001
	13	0,5	120	1	2,142	-0,201	0,906	-0,679	4,7713	0,024
	13	0,5	390	3	2,636	-0,201	0,906	-1,041	10,9981	0,055
Autobus	14	0	40	1	0,463	-0,201	0,906	1,123	0,0754	0,000
	14	0	80	1	0,898	-0,201	0,906	-0,002	1,0045	0,000
	15	0	60	1	0,608	-0,201	0,906	0,454	0,3519	0,000
	15	0	100	1	1,389	-0,201	0,906	-0,365	2,3174	0,000
	16	10,5	50	1	0,521	-0,201	0,906	0,749	0,1783	0,019
	16	10,5	80	1	0,898	-0,201	0,906	-0,002	1,0045	0,105
									2,05	

Il calcolo numero di veicoli commerciali in assi standard da 8,2 t transitanti durante la vita utile ($N_{8,2} = T_n \cdot C_{SN}$) è riportato nella tabella seguente.

Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica in assi equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)

CSN	2,05	Coefficiente di equivalenza tra assi reali ed assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)
Tn	786.380	Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica
N8.2	1.614.288	Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica in assi equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)

5.3 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

La verifica della pavimentazione consiste nel verificare che il numero di assi standard transitanti durante la vita utile della pavimentazione ($N_{8,2}$) risulti inferiore al numero di assi standard sopportabili dalla pavimentazione ($W_{8,2}$).

Dalla tabella riportata di seguito si evince che, essendo $N_{8,2} < W_{8,2}$ **la verifica della pavimentazione è soddisfatta.**

Verifica della pavimentazione

N8.2	1.614.288	Numero di assi di veicoli commerciali nell'arco della vita utile lungo la corsia più carica in assi equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN)
W8.2	3.196.879	Numero di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8.2 t o 80 KN) sopportabile dalla pavimentazione
Esito verifica	verifica soddisfatta	
W8.2 / N8.2	1,98	