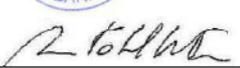


S.S. N. 9 "VIA EMILIA"

VARIANTE DI CASALPUSTERLENGO ED ELIMINAZIONE PASSAGGIO A LIVELLO SULLA S.P. EX S.S. N.234

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Renato Vaira <small>(Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</small>	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</small>	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo <small>Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</small>	INTEGRAZIONE PRESTAZIONI	PROGETTISTA
			Ing. Renato Del Prete	Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
 Ing. Valerio Bajetti <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</small>	SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</small>	 Ing. Gabriele Incecchi <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</small>	PROGETTAZIONE STRADALE	PROGETTAZIONE IDRAULICA
			Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>	Ing. Fabrizio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
 Prof. Ing. Matteo Ranieri <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</small>	ECOPLAN <small>CONSORZIO DI INGEGNERIA</small> Arch. Nicoletta Fratini <small>Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</small>	ARKE' INGEGNERIA s.r.l. <small>Via S. Maria delle Grazie n° 4 - 70127 Bari</small> Ing. Gioacchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI
			Ing. Renato Vaira <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>	Ing. Nicola Ligas <small>(I.T. S.r.l.)</small>
			COMPUTI	CANTIERISTICA
			Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>	Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>
			GEOLOGIA	GEOTECNICA
			Dott. Danilo Gallo	Ing. Gianfranco Sodero <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>
			AMBIENTE	SICUREZZA
			Dott. Emilio Macchi <small>(ECOPLAN S.r.l.)</small>	Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>
VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	IL RESPONSABILE DELLA INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	PROGETTISTA	GEOLOGO	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
				
Dott. Ing. Fabrizio CARDONE	Ing. Renato DEL PRETE	Ing. Valerio BAJETTI	Dott. Danilo GALLO	Ing. Gaetano RANIERI

DA02

D - DA - ASSE PRINCIPALE

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	DA02-P00PS00GENRE02_B.dwg			
COMI	E	1701	CODICE ELAB.	P00PS00GENRE02	B	-
D						
C						
B	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA		LUGLIO 2018	ING. NICOLA MANGIARDI	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI
A	EMISSIONE		DICEMBRE 2017	ING. ROSALIA PISCOPO	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSE	2
2	LA METODOLOGIA AASHTO	3
2.1	IL NUMERO DI STRUTTURA SN	4
2.2	L’AFFIDABILITÀ	8
2.3	ANALISI DEL TRAFFICO	9
2.4	PORTANZA DEL SOTTOFONDO.....	13
3	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELL’ASTA PRINCIPALE.....	14
4	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ C1.....	16
5	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ URBANA	18

1 PREMESSE

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo delle pavimentazioni previste sull'asta principale e sulla viabilità secondaria nell'ambito del progetto esecutivo della variante della SS9 all'abitato di Casalpusterlengo.

Nel progetto esecutivo sono state confermate le sovrastrutture stradali previste nel progetto definitivo:

- sulla piattaforma dell'asta principale ed i relativi rami di svincolo è stata prevista una pavimentazione semirigida così composta:

Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	4 cm
Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	7 cm
Strato di base in conglomerato bituminoso (CB)	10 cm
Strato di sottobase in misto cementato (MC)	15 cm
Strato di fondazione in misto granulare (MG)	<u>20 cm</u>
Totale	56 cm

- per le strade di categoria C1 ed i relativi rami di svincolo è stata prevista una pavimentazione semirigida composta da:

Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	3 cm
Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	7 cm
Strato di base in conglomerato bituminoso (CB)	10 cm
Strato di sottobase in misto cementato (MC)	15 cm
Strato di fondazione in misto granulare (MG)	<u>20 cm</u>
Totale	55 cm

- per le strade di categoria E ed F ed i relativi svincoli è stata prevista una pavimentazione flessibile composta da:

Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	3 cm
Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	7 cm
Strato di base in conglomerato bituminoso (CB)	10 cm
Strato di fondazione in misto granulare (MG)	<u>20 cm</u>
Totale	40 cm

La metodologia di calcolo adottata per il progetto/verifica di tali sovrastrutture è quella AASHTO, i cui principali contenuti sono richiamati nelle pagine che seguono.

2 LA METODOLOGIA AASHTO

La metodologia di dimensionamento proposta dall' *AASHTO* si basa sulla quantificazione della capacità strutturale di una pavimentazione attraverso il Numero di Struttura *SN* (*Structural Number*), che rappresenta un coefficiente di equivalenza tra gli strati componenti della pavimentazione atto a confrontare, dal punto di vista strutturale, pavimentazioni di diverso spessore e natura, a parità di portanza di sottofondo.

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

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

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

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

dove:

- il primo addendo $Z_R S_0$ rappresenta il grado di affidabilità accettato nel dimensionamento;
- il secondo addendo rappresenta le caratteristiche strutturali della pavimentazione di progetto;
- il terzo addendo rappresenta il decadimento limite ammissibile per la pavimentazione in progetto in relazione alle sue caratteristiche strutturali;
- il quarto addendo rappresenta la "bontà" del sottofondo su cui va a posare la pavimentazione;
- W_{18} è il carico massimo ammissibile della pavimentazione, espresso come assi equivalenti da 80 kN, che, per la verifica della pavimentazione, deve risultare maggiore del volume di traffico equivalente W_T ottenuto dal probabile traffico equivalente transitante sulla stessa durante la sua prestabilita vita utile.
- SN è il numero di struttura ovvero il coefficiente di strato;

Come si nota dalle formule, per esplicitare il numero di assi equivalenti che transitano durante la vita utile di una sovrastruttura stradale, è necessario calcolare il numero di struttura SN , che viene descritto dettagliatamente nel paragrafo successivo, instaurando un ciclo iterativo di calcolo.

2.1 IL NUMERO DI STRUTTURA SN

Come detto in precedenza, il Numero di Struttura SN (*Structural Number*) rappresenta un coefficiente di equivalenza tra gli strati componenti della pavimentazione atto a confrontare dal punto di vista strutturale pavimentazioni di diverso spessore.

In pratica, viene assegnato ad ogni strato (di spessore H_i) un coefficiente di struttura (a_i), che rappresenta il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione. Viene inoltre considerato un ulteriore fattore (d_i) per considerare gli effetti del drenaggio di ciascun strato componente della pavimentazione. Il contributo di ogni singolo strato alla prestazione complessiva della pavimentazione è dato dal prodotto dei 2 coefficienti a_i, d_i per il suo spessore H_i .

$$SN_i = a_i H_i d_i \quad (2)$$

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

I coefficienti di spessore a_i si ricavano, per gli strati legati, in funzione del relativo modulo resiliente, calcolato o richiesto, attraverso formule di correlazione o con l'ausilio di specifici abachi, come quelli rappresentati nella figure seguenti¹ che correlano il coefficiente di struttura alla stabilità Marshall e al *Modulo Resiliente* (espressi in *psi*)²:

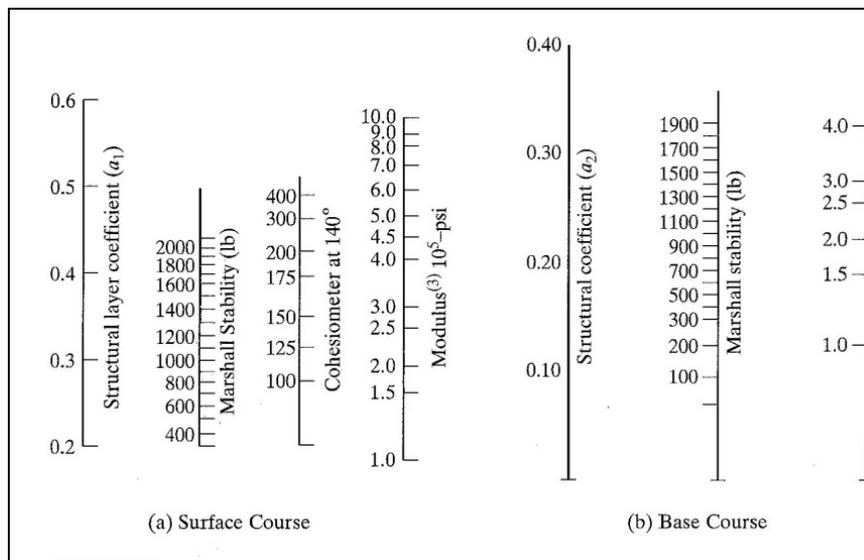


Figura 1: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, stabilità Marshall e modulo resiliente per strati di usura e binder (surface course) e di base (base course)

¹ YANG H. HUANG, *Pavement Analysis and Design*, Pearson, United State of America, 2004;

² 1 psi = 6,91 KPa

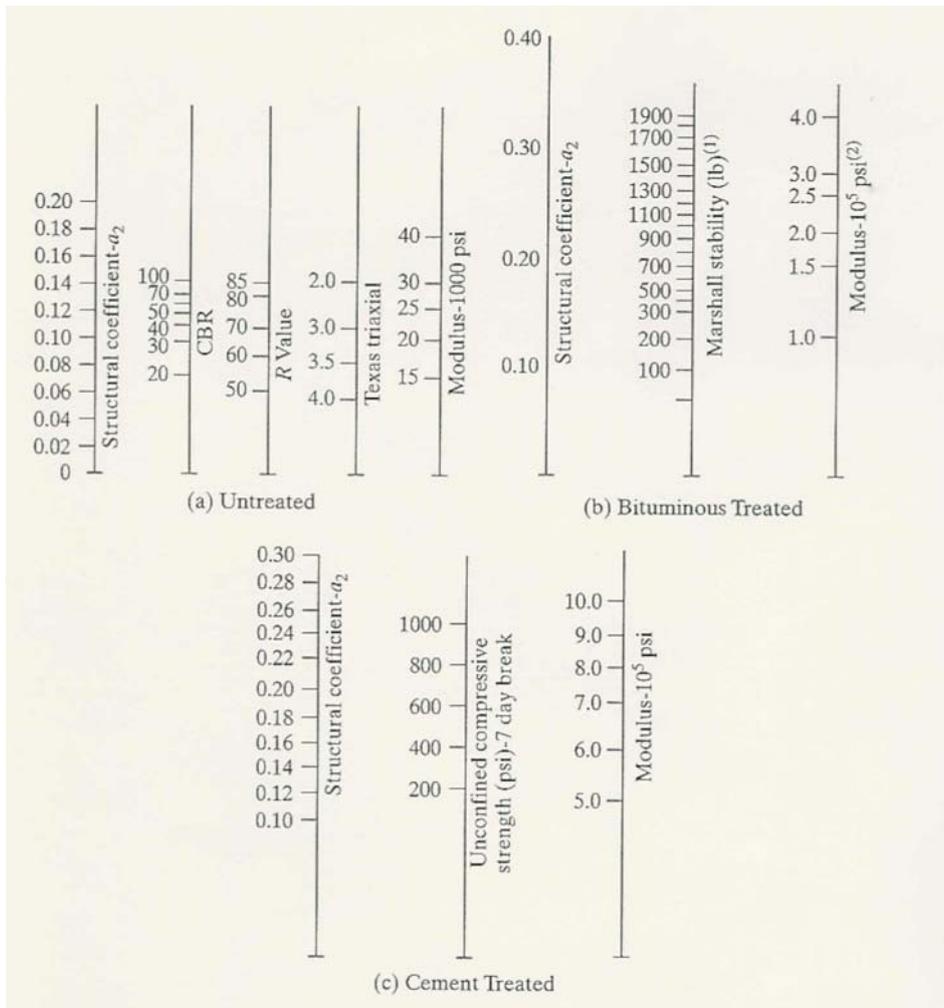


Figura 2: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, stabilità Marshall e modulo resiliente per strati di base

Nello specifico, per gli strati superficiali la metodologia AASHTO si basa sulla relazione mostrata in figura 3 tra il modulo resiliente e il coefficiente di spessore. Il valore base adottato nella metodo è pari $a_1 = 0.44$, corrispondente ad un modulo resiliente dello strato superficiale pari a 3.1 GPa (450.000 Psi).

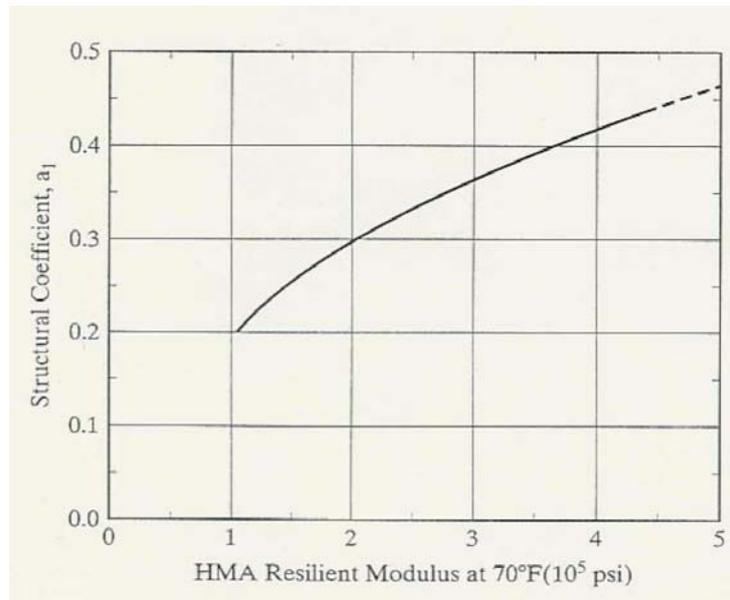


Figura 3: correlazione fra modulo resiliente del conglomerato bituminoso superficiale e coefficiente di spessore

Per gli strati di base, trattati e non, la correlazione è basata sulla seguente equazione:

$$a_2 = 0.249(\log E_2) - 0.977 \quad (3)$$

che lega il coefficiente di spessore a_2 al modulo resiliente dello strato. Per le basi non legate, il valore base adottato nel metodo è pari a 0.14, corrispondente ad un modulo resiliente di 207 MPa (30.000 Psi.).

Anche per gli strati non legati, la determinazione dei coefficienti di spessore a_i può effettuarsi con l'ausilio di specifici abachi, mostrati in seguito, che correlano il coefficiente di struttura al *CBR* ed al *Modulo Resiliente* del materiale adottato:

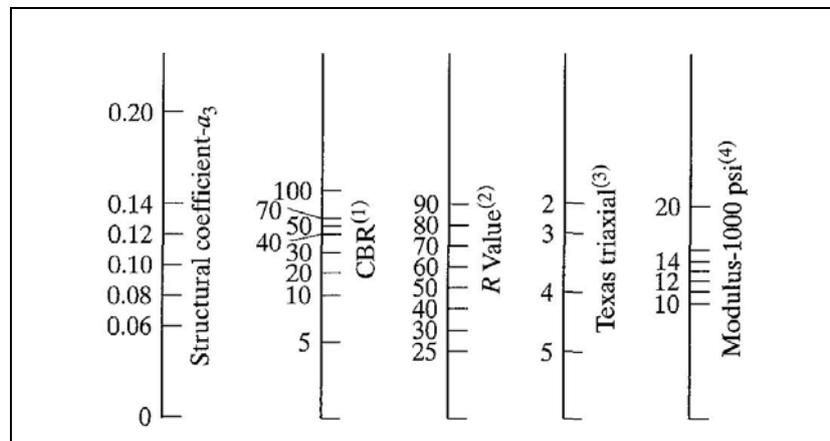


Figura 4: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, modulo resiliente e CBR per strati di fondazione stradale

Per le fondazioni non legate la correlazione è basata sulla seguente equazione:

$$a_3 = 0.227(\log E_3) - 0.839 \quad (4)$$

che lega il coefficiente di spessore a_2 al modulo resiliente dello strato. Per le basi non legate, il valore base adottato nel metodo è pari a 0.11, corrispondente ad un modulo resiliente di 104 MPa (15.000 Psi.).

Con l'ausilio degli abachi e delle formulazioni sopra esposti sono stati ricavati i coefficienti di spessore degli strati componenti le pavimentazioni in progetto. Nell'elenco puntato che segue sono riportati i valori prudenzialmente adottati nel calcolo/verifica delle pavimentazioni:

- conglomerato bituminoso per strato di usura: $a_1 = 0.44$
- conglomerato bituminoso per strato di binder: $a'_1 = 0.38$
- conglomerato bituminoso per strato di base: $a_2 = 0.28$
- misto cementato per strato di sottobase: $a'_2 = 0.25$
- misto granulare per strato di fondazione: $a_3 = 0.13$

Per quanto attiene il coefficiente di drenaggio, esso si applica ai soli strati non legati per tenere conto degli deleteri effetti che la persistente presenza di acqua ha sulla loro resistenza meccanica.

I coefficienti si applicano in ragione della seguente tabella che ne fornisce il valore in funzione del tempo di permanenza dello strato in condizioni prossime alla saturazione.

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

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

Tabella 1 valori del coefficiente di drenaggio

Poiché è previsto che la pavimentazione poggi sempre sul rilevato stradale, si è adottato sempre un valore di coefficiente di drenaggio $d = 1$. L'unica zona dove la pavimentazione poggia sul terreno in sito è in corrispondenza dello svincolo "Casalpusterlengo Sud" dove l'asta principale giace in leggero sterro. In tale tratto stradale è però prevista la realizzazione di due trincee drenanti poste ai lati della pavimentazione assicurando quindi un buon livello di drenaggio.

2.2 L'AFFIDABILITÀ

Questo fattore di dimensionamento considera le condizioni aleatorie che possono inficiare le previsioni di traffico e le prestazioni delle pavimentazioni. L'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_{fin}) sia maggiore o uguale al numero di applicazioni di carico $Z N_T$ che realmente sono applicati alla sovrastruttura nel periodo di progettazione T considerato (vita utile).

$$R(\%) = 100 \cdot \text{Pr ob}(N_t \geq N_T) \quad (5)$$

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_0 sono strettamente collegate a tale affidabilità.

Z_R rappresenta il valore della variabile standardizzata δ_0 al quale corrisponde la probabilità R che si abbiano valori ad esso superiori. Considerando l'espressione di δ_0 , l'affidabilità può essere riscritta come $R(\%) = 100 \cdot \text{Pr ob}(\delta_0 \geq 0)$ con δ_0 variabile aleatoria caratterizzata da una legge di probabilità normale, valore medio pari a $\bar{\delta}_0$ e deviazione standard S_0 .

Per questo ultimo parametro, nel caso di pavimentazioni flessibili solitamente si assume un valore compreso tra 0.35 e 0.50 tenendo conto dell'errore che si commette sul traffico e sulle prestazioni previste per la sovrastruttura. Valori inferiori sottintendono il fatto che il reale comportamento del traffico e dell'efficienza della pavimentazione è meno disperso intorno al valore medio. Nella successiva *Tabella 1* si riportano i valori di Z_R in funzione di R^3 .

R %	Z _R	R %	Z _R						
50	-0	80	-0.841	92	-1.405	96	-1.751	99.9	-3.090
60	-0.253	85	-1.037	93	-1.476	97	-1.881	99.99	-3.750
70	-0.524	90	-1.282	94	-1.555	98	-2.054		
75	-0.674	91	-1.340	95	-1.645	99	-2.327		

Tabella 2 - : valori del parametro Z_R in funzione dell'affidabilità

³ AASHTO, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986

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.

Nel caso di specie, analogamente a quanto previsto nel progetto preliminare, per l'asta principale e per le strade di categoria C1 si è adottato un livello di affidabilità pari al 95%. Per la restante viabilità secondaria si è adottato un coefficiente di affidabilità pari al 90%.

2.3 ANALISI DEL TRAFFICO

I dati di traffico sono stati ricavati dall'elaborato del progetto definitivo n. 0004 "Studio trasportistico: stima dei traffici attuali e futuri".

Da tale documento risulta che il massimo traffico medio giornaliero previsto sulla **nuova SS.9** si avrà in carreggiata dir. nord lungo il tratto di strada compreso tra lo svincolo "Casalpusterlengo Sud" e lo svincolo "SP. 142" dove è previsto che transitino 960 veicoli pesanti (VP) nei giorni feriali, 254 nei giorni prefestivi (sabato) e 65 nei giorni festivi. Considerando annualmente 260 giorni feriali, 52 festivi e 53 festivi, si ha che in un anno su detta carreggiata transiteranno:

$$260 \times 960 + 52 \times 254 + 53 \times 65 = 266.253 \text{ VP.}$$

che, nell'ipotesi di equa distribuzione del traffico sulle due corsie, corrispondono a 133.127 veicoli pesanti per ciascuna di esse.

Considerando in via cautelativa un tasso di crescita del 5% anno (pari a quello adottato nel progetto definitivo) e, quindi, un fattore di crescita F_c nei venti anni pari a:

$$20 \cdot F_c = [(1+0,05)^{20}-1]/0,05 = 33,07,$$

si ha nei 20 anni di vita utile della pavimentazione un numero di passaggi di veicoli pesanti per corsia pari a:

$$133.127 \times 33,07 = \mathbf{4.402.510 \text{ VP}}$$

Per quanto concerne la composizione del traffico, sono stati presi in considerazione i dati riportati nel "Catalogo delle pavimentazioni" redatto dal CNR (B.U. 178/95) nel quale vengono indicati i valori di riferimento rispetto ai quali orientare la progettazione.

Nello specifico, lo spettro di traffico suggerito per le strade extra-urbane principali è quello riassunto nello specchietto riportato di seguito:

CATEGORIA DI VEICOLO												
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16
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%

dove, con l'aiuto della successiva tabella 3, è possibile attribuire a ciascun tipo di veicolo i corrispondenti assi, così da conoscere quante volte ciascun tipo di asse caricherà la pavimentazione in progetto.

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)

La Tabella 4 riporta il numero di volte che ciascuna tipologia di asse, caricherà la pavimentazione nell'arco dei 20 anni di vita utile.

Numero totale passaggi di veicoli pesanti:		CATEGORIA DI VEICOLO												
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16
% passaggi per ogni categ.		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%
ASSI	asse da 15 kN	576.729												
	asse da 30 kN	576.729												
	asse da 40 kN		1.738.991		347.798					114.465		114.465		
	asse da 50 kN			462.264									22.013	462.264
	asse da 60 kN					114.465	114.465	110.063		110.063		114.465		
	asse da 80 kN		1.738.991				228.931							462.264
	asse da 90 kN						114.465							
	asse da 100 kN							330.188			114.465			
	asse da 110 kN			462.264								114.465		
	asse da 120 kN												22.013	
	asse tandem da 160 kN				347.798				228.931					
	asse tandem da 180 kN									110.063				
	asse tandem da 200 kN					114.465				110.063				
	asse triplo da 240 kN										114.465			
	asse triplo da 270 kN											114.465		
asse triplo da 390 kN												22.013		

Tabella 4 - Ripetizioni di carico dei diversi assi per i 20 anni di vita utile della pavimentazione suddivisa per tipologia di assi.

Per poter passare dal numero di assi transitanti durante la vita utile della pavimentazione a quello di assi equivalenti è necessario il calcolo del coefficiente di struttura SN che a sua volta dipende dal tipo di pavimentazione considerata.

Pere quanto attiene il traffico presente sulla **viabilità di categoria C1** in progetto, si è fatto riferimento allo stesso documento del progetto definitivo nel quale (grafo a pag. 31) si evince un valore massimo del flusso orario su tali categorie di strade pari a 308 veic/h (riscontrato sulla SS. 234 lungo la corsia in uscita da Casalpusterlengo).

Considerando che normalmente il flusso orario di progetto corrisponde al 7% (fino ad un massimo del 10%) del volume di traffico medio giornaliero, si ottiene che il traffico medio giornaliero sulla corsia di marcia considerata è pari a: $308/0.07 = 4.400$ veicoli, di cui il 10.2% è costituito da veicoli pesanti⁴.

In assenza di altre statistiche sul traffico, al fine di valutare il volume di traffico pesante incidente sulla pavimentazione in progetto nell'arco di un anno, si considera in via cautelativa che il volume di traffico pesante giornaliero sia applicato per 320 giorni all'anno. Si ottiene:

$$4.400 \times 0.102 \times 320 = 143.616 \text{ VP}$$

Considerando (come visto in precedenza) un tasso di crescita del 5% anno e, quindi, un fattore di crescita Fc nei venti anni pari a:

$$20 \cdot Fc = [(1+0,05)^{20} - 1] / 0.05 = 33,07,$$

si ha nei 20 anni di vita utile della pavimentazione un numero di passaggi di veicoli pesanti per corsia pari a:

$$143.616 \times 33,07 = \mathbf{4.749.381 \text{ VP}}$$

Per quanto concerne la composizione del traffico, sono stati presi in considerazione i dati riportati nel "Catalogo delle pavimentazioni" redatto dal CNR (B.U. 178/95) nel quale vengono indicati i valori di riferimento rispetto ai quali orientare la progettazione.

Nello specifico, lo spettro di traffico suggerito per le strade extra-urbane secondarie di tipo ordinario è quello riassunto nello specchietto riportato di seguito:

CATEGORIA DI VEICOLO														
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	58,8%	29,4%		5,9%		2,8%					0,2%			2,9%

dove, con l'aiuto della successiva tabella 3 vista in precedenza, è possibile attribuire a ciascun tipo di veicolo i corrispondenti assi, così da conoscere quante volte ciascun tipo di asse caricherà la pavimentazione in progetto.

La *Tabella 5* riporta il numero di volte che ciascuna tipologia di asse, caricherà la pavimentazione nell'arco dei 20 anni di vita utile.

⁴ Tale dato è stato ricavato dai rilievi di traffico effettuati nel novembre 2006 lungo la SS.236 in corrispondenza della intersezione con la SS.9, nella corsia in direzione ovest (fonte: studio trasporti stico del progetto definitivo, allegato 1) .

Numero totale passaggi di veicoli pesanti:		4.749.381													
		CATEGORIA DI VEICOLO													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
% passaggi per ogni categ.			58,8%	29,4%		5,9%		2,8%						0,2%	
ASSI	asse da 15 KN														
	asse da 30 KN														
	asse da 40 KN		2.792.636		0				0		0				
	asse da 50 KN			1.396.318									9.499	0	
	asse da 60 KN					280.213	0	132.983		0		0			
	asse da 80 KN		2.792.636				0							0	
	asse da 90 KN						0								
	asse da 100 KN								398.948			0			
	asse da 110 KN			1.396.318									0		
	asse da 120 KN													9.499	
	asse tandem da 160 KN				0					0					
	asse tandem da 180 KN										0				
	asse tandem da 200 KN					280.213					0				
	asse triplo da 240 KN											0			
	asse triplo da 270 KN												0		
asse triplo da 390 KN													9.499		

Tabella 5 - Ripetizioni di carico dei diversi assi per i 20 anni di vita utile della pavimentazione suddivisa per tipologia di assi.

Anche in questo caso, per passare dal numero di assi transitanti durante la vita utile della pavimentazione a quello di assi equivalenti, è necessario il calcolo del coefficiente di struttura SN che a sua volta dipende dal tipo di pavimentazione considerata.

Per quanto attiene alle **strade urbane**, in assenza di indicazioni del progetto definitivo sulla stima del traffico, si è cautelativamente fatto riferimento al massimo volume di traffico pesante transitante nei venti anni di vita utile indicato dal Catalogo delle Pavimentazioni del CNR per le strade locali e di quartiere: 4.000.000.

Lo spettro di traffico suggerito per le strade urbane di quartiere e locali è quello riassunto nello specchio riportato di seguito:

CATEGORIA DI VEICOLO														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
80,0%														20,0%

dove, con l'aiuto della successiva tabella 3 vista in precedenza, è possibile attribuire a ciascun tipo di veicolo i corrispondenti assi, così da conoscere quante volte ciascun tipo di asse caricherà la pavimentazione in progetto.

La **Tabella 6** riporta il numero di volte che ciascuna tipologia di asse, caricherà la pavimentazione nell'arco dei 20 anni di vita utile.

Numero totale passaggi di veicoli pesanti:		4.000.000															CATEGORIA DI VEICOLO	Totale passaggi per tipo di asse
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
% passaggi per ogni categ.	80,0%															20,0%		
asse da 10 KN	3.200.000																3.200.000	
asse da 15 KN																	0	
asse da 20 KN	3.200.000																3.200.000	
asse da 30 KN																	0	
asse da 40 KN																	0	
asse da 50 KN																	0	
asse da 60 KN														800.000			800.000	
asse da 80 KN														800.000			800.000	
asse da 90 KN																	0	
asse da 100 KN																	0	
asse da 110 KN																	0	
asse da 120 KN																	0	
asse tandem da 160 KN																	0	
asse tandem da 180 KN																	0	
asse tandem da 200 KN																	0	
asse triplo da 240 KN																	0	
asse triplo da 270 KN																	0	
asse triplo da 390 KN																	0	

Tabella 6 - Ripetizioni di carico dei diversi assi per i 20 anni di vita utile della pavimentazione suddivisa per tipologia di assi.

Ancora una volta per passare dal numero di assi transitanti durante la vita utile della pavimentazione a quello di assi equivalenti, è necessario il calcolo del coefficiente di struttura SN che a sua volta dipende dal tipo di pavimentazione considerata.

Tali calcoli verranno pertanto riportati nello specifico capitolo riguardante la verifica di ciascuna pavimentazione.

2.4 PORTANZA DEL SOTTOFONDO

La “portanza” di un terreno è la sua capacità di sopportare i carichi senza che si verifichino eccessive deformazioni, che risultano essere di tipo elasto – plastico - viscoso.

Infatti la necessità di avere contenute deformazioni nel sottofondo, al fine di garantire le regolarità del piano viabile e consentire un’accettabile vita utile della sovrastruttura, condiziona decisamente lo spessore complessivo della pavimentazione e quindi il relativo costo di costruzione.

Sulla scorta delle risultanze delle prove effettuate e delle analisi contenute nella relazione geotecnica si è cautelativamente assunto per tutte le pavimentazioni in progetto un coefficiente di sottofondo pari a **CBR 10%** corrispondente ad un modulo resiliente pari a $M_R=90$ N/mm² (13.000 psi) ed a un modulo di deformabilità del sottofondo $M_d = 50$ kPa .

3 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELL'ASTA PRINCIPALE

Si riporta di seguito il calcolo dello Structural Number della pavimentazione in questione.

Calcolo del Structural Number Pavimentazione AP				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CLB	4	1,57	0,44	0,69
binder in CLB	7	2,76	0,38	1,05
base in CLB	10	3,94	0,28	1,08
sottobase in MC	15	5,91	0,25	1,48
fondazione in MG	20	7,87	0,13	1,02
Totale	56		Totale	5,32

Tabella 7 - calcolo dello Structural Number della pavimentazione dell'asta principale

Per l'applicazione del metodo AASHTO sono stati assunti i dati riportati nella sottostante tabella:

Z_R (R=95%)	-1,645
S_0	0,45
PSI iniziale	4,20
PSI finale	2,50

Tabella 8 - dati di input per il calcolo del valore ammissibile di ripetizioni di carico

Con tali dati è innanzitutto possibile calcolare il numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN equivalenti al numero di passaggi di veicoli pesanti attesi (pari a 4.402.510 veicoli – cfr. par. 2.3).

La tabella riportata di seguito mostra i risultati dei calcoli eseguiti.

	kN (Lx)	kips (Lx)	L2	βx	Coeff. di equivalenza	totale passaggi	Totale passaggi assi stdn equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,400661851	0,00105347	576.729	608
asse da	30	6,74	1	0,404194411	0,016123189	576.729	9.299
asse da	40	8,99	1	0,409553788	0,053841312	2.315.720	124.681
asse da	50	11,24	1	0,418400219	0,138952829	946.540	131.524
asse da	60	13,48	1	0,431720487	0,301161423	563.521	169.711
asse da	80	17,98	1	0,475939319	0,994937828	2.430.186	2.417.884
asse da	90	20,22	1	0,509006439	1,596529058	114.465	182.747
asse da	100	22,47	1	0,550877365	2,412843427	444.654	1.072.879
asse da	110	24,72	1	0,602711711	3,478251094	576.729	2.006.008
asse da	120	26,97	1	0,665694978	4,831450347	22.013	106.353
asse tandem da	160	35,96	2	0,475939319	1,368578588	576.729	789.299
asse tandem da	180	40,45	2	0,509006439	2,196092483	110.063	241.708
asse tandem da	200	44,94	2	0,550877365	3,318967034	224.528	745.201
asse tridem da	240	53,93	3	0,475939319	1,649193902	114.465	188.775
asse tridem da	270	60,67	3	0,509006439	2,64638243	114.465	302.919
asse tridem da	390	87,64	3	0,741036781	10,8055904	22.013	237.859
				N. totale passaggi asse standard equivalente (n):			8.727.454
SN =	5,32						
pt =	2,5						
Gt =	-0,2009148						
β_{18} =	0,4762302						

Tabella 9 - Calcolo del numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80kN

Dalla applicazione dell'equazione (1) si ottiene, infine:

Modulo Resiliente (psi) =	13.000	(90,000 kPa)		
PSI iniziale =	4,2			
PSI finale =	2,5			
ZR (95%) =	-1,645		$N_{8,2} =$	40.622.985
So =	0,45		$n_{8,2} =$	8.727.454
			$F =$	4,65
log N8,2 =	7,608772			

Il numero massimo di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN che la pavimentazione è in grado di sopportare è dunque pari a 40.622.985 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 8.727.454.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.

4 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ C1

Si riporta di seguito il calcolo dello Structural Number della pavimentazione in questione.

Calcolo del Structural Number Pavimentazione C1				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CLB	3	1,18	0,44	0,52
binder in CLB	7	2,76	0,38	1,05
base in CLB	10	3,94	0,28	1,08
sottobase in MC	15	5,91	0,25	1,48
fondazione in MG	20	7,87	0,13	1,02
Totale	55		Totale	5,15

Tabella 10 - calcolo dello Structural Number della pavimentazione dell'asta principale

Per l'applicazione del metodo AASHTO sono stati assunti i dati riportati nella sottostante tabella:

Z_R (R=90%)	-1,282
S_0	0,40
PSI iniziale	4,20
PSI finale	2,50

Tabella 11 - dati di input per il calcolo del valore ammissibile di ripetizioni di carico

Con tali dati è innanzitutto possibile calcolare il numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN equivalenti al numero di passaggi di veicoli pesanti attesi (pari a 4.749.381 veicoli – cfr. par. 2.3).

La tabella riportata di seguito mostra i risultati dei calcoli eseguiti.

	kN (Lx)	kips (Lx)	L2	βx	Coeff. di equivalenza	totale passaggi	Totale passaggi assi stand equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,400764496	0,001078234	0	0
asse da	30	6,74	1	0,404844911	0,016476759	0	0
asse da	40	8,99	1	0,41103546	0,0548993	2.792.636	153.314
asse da	50	11,24	1	0,421253859	0,141199775	1.543.549	217.949
asse da	60	13,48	1	0,436639933	0,304632069	413.196	125.873
asse da	80	17,98	1	0,487716544	0,994996825	2.930.368	2.915.707
asse da	90	20,22	1	0,525911955	1,58747924	0	0
asse da	100	22,47	1	0,57427653	2,387196047	398.948	952.367
asse da	110	24,72	1	0,634149726	3,428108476	1.396.318	4.786.730
asse da	120	26,97	1	0,706900898	4,750115308	9.499	45.120
asse tandem da	160	35,96	2	0,487716544	1,368659742	0	0
asse tandem da	180	40,45	2	0,525911955	2,18364408	0	0
asse tandem da	200	44,94	2	0,57427653	3,283687991	280.213	920.134
asse tridem da	240	53,93	3	0,487716544	1,649291695	0	0
asse tridem da	270	60,67	3	0,525911955	2,631381589	0	0
asse tridem da	390	87,64	3	0,793927259	10,61221195	9.499	100.803
			N. totale passaggi asse standard equivalente (n):				10.217.996
SN =	5,15						
pt =	2,5						
Gt =	-0,2009148						
β_{18} =	0,4880525						

Tabella 12 - Calcolo del numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80kN

Dalla applicazione dell'equazione (1) si ottiene, infine:

Modulo Resiliente (psi) =	13.000	(90,000 kPa)		
PSI iniziale =	4,2			
PSI finale =	2,5			
ZR (90%) =	-1,282		$N_{8,2} =$	54.140.219
So =	0,4		$n_{8,2} =$	10.217.996
			F =	5,30
log N8,2 =	7,73352			

Il numero massimo di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN che la pavimentazione è in grado di sopportare è dunque pari a 54.140.219 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 10.217.996.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.

5 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ URBANA

Si riporta di seguito il calcolo dello Structural Number della pavimentazione in questione.

Calcolo del Structural Number Pavimentazione Urbana				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CLB	3	1,18	0,44	0,52
binder in CLB	7	2,76	0,38	1,05
base in CLB	10	3,94	0,28	1,10
fondazione in MG	20	7,87	0,13	1,02
Totale	40		Totale	3,69

Tabella 13 - calcolo dello Structural Number della pavimentazione dell'asta principale

Per l'applicazione del metodo AASHTO sono stati assunti i dati riportati nella sottostante tabella:

Z_R (R=95%)	-1,645
S_0	0,45
PSI iniziale	4,20
PSI finale	2,00

Tabella 14 - dati di input per il calcolo del valore ammissibile di ripetizioni di carico

Con tali dati è innanzitutto possibile calcolare il numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN equivalenti al numero di passaggi di veicoli pesanti attesi (pari a 4.000.000 veicoli – cfr. par. 2.3).

La tabella riportata di seguito mostra i risultati dei calcoli eseguiti.

	kN (Lx)	kips (Lx)	L2	βx	Coeff. di equivalenza	totale passaggi	Totale passaggi assi stdn equivalenti
asse da	10	2,25	1	0,401190882	0,000268703	3.200.000	860
asse da	15	3,37	1	0,403109609	0,001112694	0	0
asse da	20	4,49	1	0,406510827	0,003314825	3.200.000	10.607
asse da	30	6,74	1	0,419706823	0,016860181	0	0
asse da	40	8,99	1	0,444887065	0,05559523	0	0
asse da	50	11,24	1	0,486450712	0,141279805	800.000	113.024
asse da	60	13,48	1	0,54903403	0,301985999	0	0
asse da	80	17,98	1	0,756789684	0,994832481	800.000	795.866
asse da	90	20,22	1	0,91215067	1,623819853	0	0
asse da	100	22,47	1	1,108875036	2,526930393	0	0
asse da	110	24,72	1	1,352411063	3,787458967	0	0
asse da	120	26,97	1	1,648328648	5,505507491	0	0
asse tandem da	160	35,96	2	0,756789684	1,368433679	0	0
asse tandem da	180	40,45	2	0,91215067	2,233632113	0	0
asse tandem da	200	44,94	2	1,108875036	3,475898427	0	0
asse tridem da	240	53,93	3	0,756789684	1,64901928	0	0
asse tridem da	270	60,67	3	0,91215067	2,69161924	0	0
asse tridem da	390	87,64	3	2,002310993	12,92750442	0	0
				N. totale passaggi asse standard equivalente (n):			919.497
SN =	3,69						
pt =	2						
Gt =	-0,08894108						
β_{18} =	0,758156118						

Tabella 15 - Calcolo del numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80kN

Dalla applicazione dell'equazione (1) si ottiene, infine:

Modulo Resiliente (psi) =	13.000	(100,000 kPa)		
PSI iniziale =	4,2			
PSI finale =	2			
ZR (95%) =	-1,645		$N_{8,2} =$	5.029.312
So =	0,45		$n_{8,2} =$	919.497
			F =	5,47
log N8,2 =	6,701509			

Il numero massimo di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN che la pavimentazione è in grado di sopportare è dunque pari a 5.029.312 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 919.497.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.