

**CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO
ITINERARIO MAGLIE - SANTA MARIA DI LEUCA**

S.S. N° 275 "DI S. MARIA DI LEUCA"

LAVORI DI AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. B DEL D.M. 5.11.2001

S.S. 16 dal km 981+700 al km 985+386 - S.S. 275 dal Km 0+000 al km 37+000

1° Lotto: Dal Km 0+000 di prog. al Km 23+300 di prog.

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA283

PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA

I PROGETTISTI

Ing. Alberto SANCHIRICO – Progettista e Coordinatore

Ing. Simona MASCIULLO – Progettista

COLLABORATORI

Geom. Andrea DELL'ANNA

Geom. Massimo MARTANO

Geom. Giuseppe CALO'

IL COORDINATORE IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Alberto SANCHIRICO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianfranco PAGLIALUNGA

RESPONSABILE PROJECT MANAGEMENT E PROGETTI SPECIALI

Ing. Nicola MARZI

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO

Ing. Vincenzo MARZI

ATTIVITA' DI SUPPORTO

**Gestione
Appalti
& Management s.r.l.**

– Tracciato

Società di Ingegneria

Sede Legale: Via Melo 70 - 70121 BARI
Sede Operativa Via Amendola 172/c - 70126 BARI
P.IVA 05831640726

PROGETTO STRADALE

1_Generale

Relazione tecnica sul dimensionamento delle pavimentazioni stradali

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	P00_PS00_TRA_RE02_C.pdf			
L0503A	D	1701	CODICE ELAB. P00PS00TRA RE02		C	–
C	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO		Marzo 2022			
B	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO DEL 2017		Giugno 2018			
A	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO		Novembre 2017			
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO
ITINERARIO MAGLIE - SANTA MARIA DI LEUCA
S.S. N° 275 "DI S. MARIA DI LEUCA"
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. B DEL D.M. 5.11.2001
S.S. 16 dal km 981+700 al km 985+386 - S.S. 275 dal Km 0+000 al km 37+000
1° Lotto: Dal Km 0+000 di prog. al Km 23+300 di prog.

PROGETTO DEFINITIVO

CODICE ID – BA 283

P00_PS00_TRA_RE02_C

Relazione tecnica sul dimensionamento delle pavimentazioni stradali

Attività di Supporto
Ga&m S.r.l. (Bari)

0.	PREMESSA.....	3
1.	LA METODOLOGIA AASHTO.....	4
1.1.	IL NUMERO DI STRUTTURA SN	5
1.2.	L’AFFIDABILITÀ.....	9
1.3.	ANALISI DEL TRAFFICO	10
1.4.	PORTANZA DEL SOTTOFONDO.....	14
2.	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELL’ASTA PRINCIPALE	155
3.	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLE RAMPE.....	17
4.	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ SECONDARIA	19

0. PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo delle pavimentazioni previste sull'asta principale e sulla viabilità secondaria nell'ambito del progetto definitivo di ammodernamento e adeguamento alla sez. B del D.M. 5.11.2001 della SS. 16 dal km 981+700 al km 985+386 e della S.S. 275 dal Km 0+000 al km 37+000. In particolare il presente progetto si riferisce al 1° lotto dei lavori che riguardano l'interezza del tronco di SS.16 in progetto e il tratto di SS. 275 che va dal Km 0+000 al Km 23+300.

Le pavimentazioni ipotizzate sono di tipo semirigido così composte:

-	sulla piattaforma dell'asta principale e sulle corsie dedicate:	
	Strato di usura in conglomerato bituminoso drenante (CBD)	5cm
	SAMI (Stress absorbing membrane interlayer – fuori calcolo)	
	Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	5 cm
	Strato di base in conglomerato bituminoso (CB)	10 cm
	Strato di sottobase in misto cementato (MC)	20 cm
	Strato di fondazione in misto granulare (MG)	<u>10 cm</u>
	Totale	50 cm
-	per le rampe di svincolo:	
	Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	3 cm
	Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	4 cm
	Strato di base in conglomerato bituminoso (CB)	8 cm
	Strato di fondazione in misto cementato (MC)	<u>20 cm</u>
	Totale	35 cm
-	per le strade secondarie:	
	Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	3 cm
	Strato di basebinder in conglomerato bituminoso (CB)	12 cm
	Strato di fondazione in misto cementato (MC)	<u>15 cm</u>
	Totale	30 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.

1. 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.

1.1. 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:

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

² 1 psi = 6,91 KPa

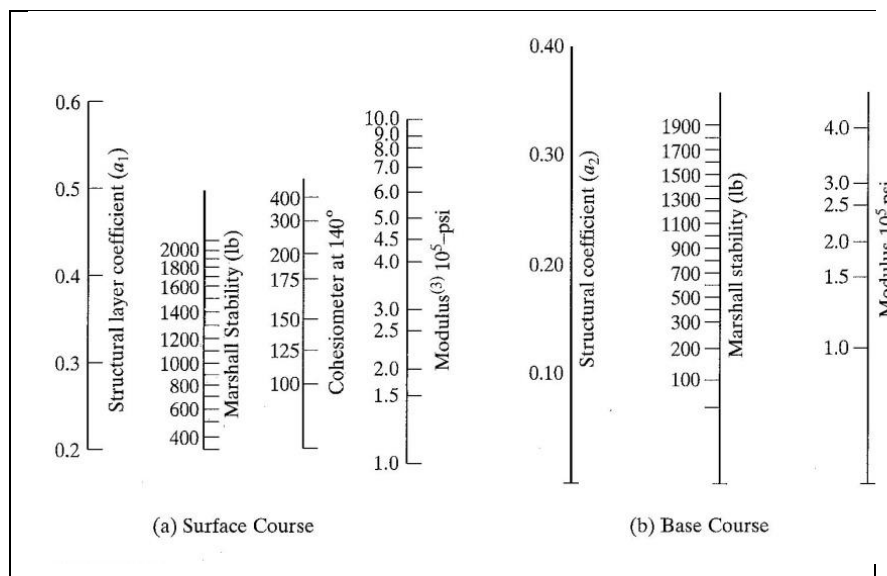


Figura 1: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, stabilità Marshall e modulo resiliente per stradi di usura e binder (surface course) e di base (base course)

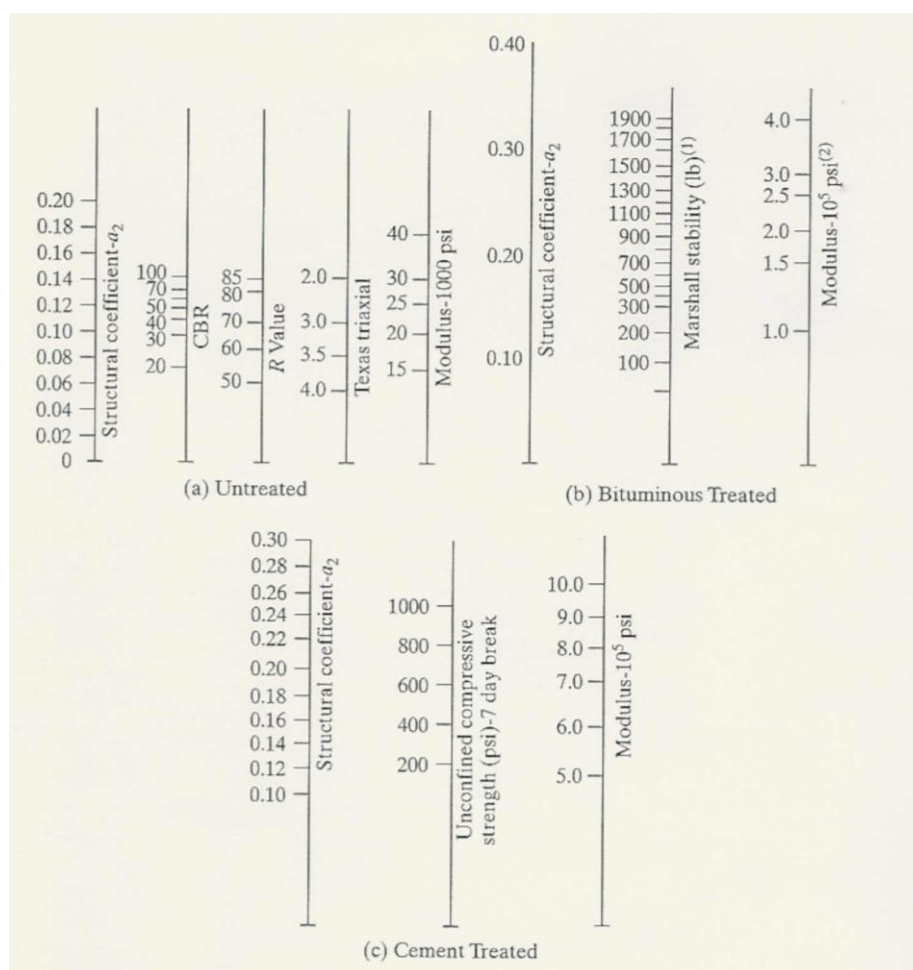


Figura 2: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, stabilità Marshall e modulo resiliente per stradi di base

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).

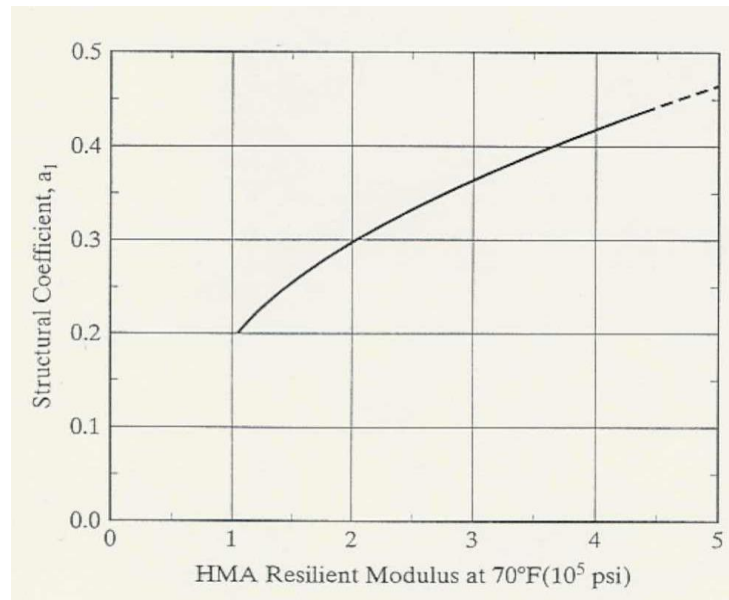


Figura 3: correlazione fra modulo resiliente del conglomerato bituminoso superficiale e coefficiente di spessore

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:

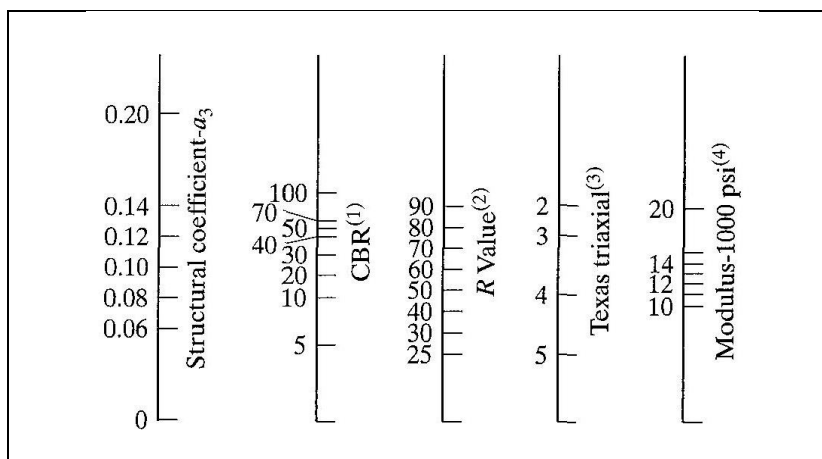


Figura 4: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, modulo resiliente e CBR per strati di fondazione stradale

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.).

Facendo riferimento alle caratteristiche dei materiali riportate nel Capitolato Speciale d'Appalto, con l'ausilio degli abachi e delle 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 tradizionale: $a_1 = 0.44$
- conglomerato bituminoso per strato di usura drenante: $a'_1 = 0.34$
- conglomerato bituminoso per strato di binder: $a'_1 = 0.38$
- conglomerato bituminoso per strato di base: $a_2 = 0.28$
- conglomerato bituminoso per strato di basebinder: $a'_2 = 0.33$
- misto cementato per strato di sottobase: $a'_2 = 0.25$
- misto granulare per strato di fondazione: $a_3 = 0.13$
- misto cementato per strato di fondazione: $a'_3 = 0.25$

Per quanto attiene il coefficiente di drenaggio (d), 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

	Percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione			
Qualità del drenaggio	< 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

Ai fini del calcolo che segue si sono assunte a riferimento le capacità medie di drenaggio ponendo $d = 1$.

1.2. 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 N_T che realmente sono applicati alla sovrastruttura nel periodo di progettazione T considerato (vita utile).

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

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_O sono strettamente collegate a tale affidabilità.

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

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	R %	Z_R	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

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, per l'asta principale e per le relative rampe si è adottato un livello di affidabilità pari al 95%. Per la restante viabilità si è adottato un coefficiente di affidabilità pari al 90%.

1.3. ANALISI DEL TRAFFICO

Il volume di traffico posto a base dei calcoli che seguono sono stati ricavati sulla base degli annali ANAS. In particolare si è fatto cautelativamente riferimento al volume giornaliero medio registrato nella

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

sezione più trafficata del tracciato (km 982.759 – Melpignano, svincolo Maglie Nord) nel 2016 e nel I trimestre 2017, pari a 24.424 veicoli/giorno con una percentuale di veicoli pesanti (VP) pari al 5%.

Il numero medio di veicoli pesanti che quotidianamente percorrono la strada è dunque pari a:

$$24.424 \times 0.05 = 1221 \text{ VP}$$

Calcolando una ripartizione percentuale del traffico sulla carreggiata più caricata del 60% e che il 100% di essi viaggia sulla corsia di marcia normale, si ottiene il volume di traffico pesante sulla corsia più caricata pari a 733 VP/giorno.

Annualmente, dunque si hanno $733 \times 365 = 267.545$ passaggi di veicoli pesanti sulla corsia di marcia normale.

Considerando in via cautelativa un tasso di crescita del 3% anno e, quindi, un fattore di crescita F_c nei venti anni pari a:

$$20 \cdot F_c = [(1+0,03)^{20}-1]/0.03 = 26.87,$$

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

$$267.545 \times 26,87 = \mathbf{7.188.934 \text{ VP}}$$

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:			7.188.934												
			CATEGORIA DI VEICOLO												
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	Totale passaggi per tipo di asse	
% 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	941.750												941.750	
	asse da 30 kN	941.750												941.750	
	asse da 40 kN		2.839.629		567.926									3.781.379	
	asse da 50 kN			754.838				186.912		186.912				1.545.621	
	asse da 60 kN					186.912	186.912	179.723		179.723		186.912	35.945	754.838	
	asse da 80 kN		2.839.629				373.825							754.838	
	asse da 90 kN						186.912							186.912	
	asse da 100 kN							539.170			186.912			726.082	
	asse da 110 kN			754.838								186.912		941.750	
	asse da 120 kN												35.945	35.945	
	asse tandem da 160 kN				567.926				373.825					941.750	
	asse tandem da 180 kN									179.723				179.723	
	asse tandem da 200 kN					186.912				179.723				366.636	
	asse triplo da 240 kN										186.912			186.912	
	asse triplo da 270 kN											186.912		186.912	
asse triplo da 390 kN												35.945	35.945		

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

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 **rampe**, è stato considerato un volume di traffico pesante pari al 10% di quello transitante sull'asta principale:

$$7.188.934 \times 0.10 = 718.893 \cong \mathbf{719.000 \text{ VP}}$$

La **Tabella 5** 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:			719.000											
ASSI		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%
	asse da 15 KN	94.189												
	asse da 30 KN	94.189												
	asse da 40 KN		284.005		56.801				18.694		18.694			
	asse da 50 KN			75.495									3.595	75.495
	asse da 60 KN					18.694	18.694	17.975		17.975		18.694		
	asse da 80 KN		284.005				37.388							75.495
	asse da 90 KN						18.694							
	asse da 100 KN							53.925			18.694			
	asse da 110 KN			75.495								18.694		
	asse da 120 KN												3.595	
	asse tandem da 160 KN				56.801				37.388					
	asse tandem da 180 KN									17.975				
	asse tandem da 200 KN					18.694				17.975				
	asse triplo da 240 KN										18.694			
asse triplo da 270 KN											18.694			
asse triplo da 390 KN												3.595		

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.

Pere quanto attiene il traffico presente sulla **viabilità secondaria** in assenza di dati certi sulla stima del traffico, si è fatto riferimento al volume intermedio tra i volumi di traffico pesante (transitante nei venti anni di vita utile) considerati dal Catalogo delle Pavimentazioni del CNR per le strade extraurbane secondarie di tipo ordinario: $(1.500.000 + 4.000.000)/2 = 2.750.000$ VP.

Lo spettro di traffico suggerito per tali strade è riassunto nello specchio 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 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:		CATEGORIA DI VEICOLO															Totale passaggi per tipo di asse
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
ASSI	% passaggi per ogni categ.	58,8%	29,4%			5,9%		2,8%					0,2%			2,9%	
	asse da 15 kN																0
	asse da 30 kN																0
	asse da 40 kN	1.617.000			0				0		0						1.617.000
	asse da 50 kN		808.500									5.500		0		79.750	893.750
	asse da 60 kN					162.250	0	77.000		0		0					239.250
	asse da 80 kN	1.617.000					0							0		79.750	1.696.750
	asse da 90 kN						0										0
	asse da 100 kN							231.000			0						231.000
	asse da 110 kN		808.500									0					808.500
	asse da 120 kN												5.500				5.500
	asse tandem da 160 kN				0				0								0
	asse tandem da 180 kN									0							0
	asse tandem da 200 kN					162.250				0							162.250
	asse triplo da 240 kN										0						0
	asse triplo da 270 kN											0					0
	asse triplo da 390 kN												5.500				5.500

**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.

1.4. 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 $M_R=90 \text{ N/mm}^2$ (13.000 psi) ed a un modulo di deformabilità del sottofondo $M_d = 50 \text{ kPa}$.

2. 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	5	1,97	0,34	0,67
binder in CLB	5	1,97	0,38	0,75
base in CLB	10	3,94	0,28	1,08
sottobase in MC	20	7,87	0,25	1,97
fondazione in MG	10	3,94	0,13	0,51
Totale	50		Totale	4,98

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 7.188.934 veicoli – cfr. par. 1.3).

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 std equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,400883679	0,001106181	941.750	1.042
asse da	30	6,74	1	0,405600226	0,016873673	941.750	15.891
asse da	40	8,99	1	0,412755871	0,056077861	3.781.379	212.052
asse da	50	11,24	1	0,424567304	0,14367255	1.545.621	222.063
asse da	60	13,48	1	0,442352043	0,308386844	920.184	283.773
asse da	80	17,98	1	0,501391421	0,995057642	3.968.292	3.948.679
asse da	90	20,22	1	0,545541439	1,578424978	186.912	295.027
asse da	100	22,47	1	0,601445978	2,362358477	726.082	1.715.267
asse da	110	24,72	1	0,670653315	3,381207189	941.750	3.184.253
asse da	120	26,97	1	0,754746285	4,676799405	35.945	168.106
asse tandem da	160	35,96	2	0,501391421	1,368743398	941.750	1.289.015
asse tandem da	180	40,45	2	0,545541439	2,171189563	179.723	390.213
asse tandem da	200	44,94	2	0,601445978	3,249522875	366.636	1.191.391
asse tridem da	240	53,93	3	0,501391421	1,649392504	186.912	308.292
asse tridem da	270	60,67	3	0,545541439	2,616373381	186.912	489.032
asse tridem da	390	87,64	3	0,855339925	10,44475145	35.945	375.433
N. totale passaggi asse standard equivalente (n):							14.089.528
SN =	4,98						
pt =	2,5						
Gt =	-0,2009148						
β_{18} =	0,5017797						

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		$N_{8,2} =$	25.343.166
So =	0,45		$n_{8,2} =$	14.089.528
			$F =$	1,80
log N8,2 =	7,403861			

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 25.343.166 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 14.089.528.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.

3. VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLE RAMPE

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

Calcolo del Structural Number Pavimentazione Rampe				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CLB	3	1,18	0,44	0,52
binder in CLB	4	1,57	0,38	0,60
base in CLB	8	3,15	0,28	0,87
fondazione in MC	20	7,87	0,25	1,97
Totale	35		Totale	3,95

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=95%)	-1,645
S_0	0,45
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 719.000 veicoli – cfr. par. 1.3).

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 std equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,402350915	0,001389553	94.189	131
asse da	30	6,74	1	0,414898682	0,020748407	94.189	1.954
asse da	40	8,99	1	0,433935359	0,0669746	378.194	25.329
asse da	50	11,24	1	0,465358159	0,164729068	154.585	25.465
asse da	60	13,48	1	0,512672176	0,337033511	92.032	31.018
asse da	80	17,98	1	0,669738866	0,995405763	396.888	395.065
asse da	90	20,22	1	0,787194325	1,534773935	18.694	28.691
asse da	100	22,47	1	0,935921179	2,263810777	72.619	164.396
asse da	110	24,72	1	1,120038419	3,234072521	94.189	304.614
asse da	120	26,97	1	1,343756977	4,509628943	3.595	16.212
asse tandem da	160	35,96	2	0,669738866	1,369222254	94.189	128.966
asse tandem da	180	40,45	2	0,787194325	2,11114573	17.975	37.948
asse tandem da	200	44,94	2	0,935921179	3,113966391	36.669	114.186
asse tridem da	240	53,93	3	0,669738866	1,649969545	18.694	30.845
asse tridem da	270	60,67	3	0,787194325	2,544018073	18.694	47.558
asse tridem da	390	87,64	3	1,611373449	10,22269703	3.595	36.751
N. totale passaggi asse standard equivalente (n):							1.389.127
SN =	3,95						
pt =	2,5						
Gt =	-0,2009148						
β_{18} =	0,6707719						

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 (95%) =	-1,645		$N_{8,2} =$	5.474.973
So =	0,45		$n_{8,2} =$	1.389.127
			$F =$	3,94
log N8,2 =	6,738382			

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 5.474.973 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 1.389.127.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.

4. VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ SECONDARIA

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

Calcolo del Structural Number Pavimentazione strade secondarie				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CLB	3	1,18	0,44	0,52
basebinder in CLB	12	4,72	0,33	1,56
fondazione in MC	15	5,91	0,25	1,48
Totale	30		Totale	3,56

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=90%)	-1,282
S_0	0,40
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 2.750.000 veicoli – cfr. par. 1.3).

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 std equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,403629772	0,001134182	0	0
asse da	30	6,74	1	0,423003305	0,017131767	0	0
asse da	40	8,99	1	0,452395603	0,056274388	1.617.000	90.996
asse da	50	11,24	1	0,500911859	0,142361647	893.750	127.236
asse da	60	13,48	1	0,573963877	0,303069308	239.250	72.509
asse da	80	17,98	1	0,816472109	0,994833797	1.696.750	1.687.984
asse da	90	20,22	1	0,997821291	1,624641231	0	0
asse da	100	22,47	1	1,227452962	2,531839129	231.000	584.855
asse da	110	24,72	1	1,511726772	3,80196886	808.500	3.073.892
asse da	120	26,97	1	1,857144327	5,53760123	5.500	30.457
asse tandem da	160	35,96	2	0,816472109	1,368435491	0	0
asse tandem da	180	40,45	2	0,997821291	2,234761952	0	0
asse tandem da	200	44,94	2	1,227452962	3,482650599	162.250	565.060
asse tridem da	240	53,93	3	0,816472109	1,649021463	0	0
asse tridem da	270	60,67	3	0,997821291	2,692980743	0	0
asse tridem da	390	87,64	3	2,270339496	13,02752946	5.500	71.651
N. totale passaggi asse standard equivalente (n):							6.304.640
SN =	3,56						
pt =	2						
Gt =	-0,0889411						
β_{18} =	0,8180671						

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	(90.000 kPa)	
PSI iniziale =	4,2		
PSI finale =	2		
ZR (90%) =	-1,282		$N_{8,2} =$ 6.552.461
So =	0,4		$n_{8,2} =$ 6.304.640
			$F =$ 1,04
log N8,2 =	6,816404		

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 6.552.461 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80 kN pari a 6.304.640.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.