

S.S.45 DELLA VAL DI TREBBIA

AMMODERNAMENTO DELLA STRADA STATALE N. 45 DELLA VAL TREBBIA NEL TRATTO CERNUSCA-RIVERGARO

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS DPRL		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE:	
I PROGETTISTI: <i>ing. Antonio SCALAMANDRÉ</i> <i>Ordine Ing. di Frosinone n.1063</i>			
IL GEOLOGO: <i>geol. Maurizio MARTINO</i> <i>Ordine Geol. del Lazio ES n.457</i>			 <small>Società designata: GA&M...</small>
IL RESPONSABILE DEL SIA: <i>Ing. Laura TROIANI</i> <i>Ordine Arch. di Roma n.A-31890</i>			 <small>Via Inghilterra 100 - 00192 Roma</small>
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>geom. E PAIELLA</i>			
VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: <i>ing. Anna Maria NOSARI</i>		DOTT. GEOL. DANILO GALLO	ING. RENATO DEL PRETE
PROTOCOLLO	DATA		

D005

D - PROGETTO STRADALE D0 - ELABORATI GENERALI RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE STRADALE

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	D005 - P00PS00TRARE05_A.dwg		
BO0067	D	1801	CODICE ELAB. P00PS00TRARE05	A	-
C					
B					
A	EMISSIONE	Aprile 2020			
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	7
2.3	ANALISI DEL TRAFFICO	8
2.4	PORTANZA DEL SOTTOFONDO	11
3	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELL’ASTA PRINCIPALE	12
4	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ SECONDARIA	13

1 PREMESSE

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo delle pavimentazioni previste sull'asta principale e sulla viabilità secondaria confluyente nelle rotatorie nell'ambito del progetto definitivo del progetto di ammodernamento e messa in sicurezza della Strada Statale 45 "Val di Trebbia" (per brevità nel testo SS.45) nel tratto "Cernusca-Rivergaro".

La pavimentazione adottata sull'asta principale di categoria C2 e sulle rotatorie è del tipo semirigido così composta:

Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	4 cm
Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	8 cm
Strato di base in conglomerato bituminoso (CB)	13 cm
Strato di sottobase in misto cementato (MC)	15 cm
Strato di fondazione in misto granulare (MG)	<u>20 cm</u>
Totale	60 cm

Per le strade afferenti ai rami secondari confluyente nelle rotatorie e la principale viabilità di ricucitura è stata invece prevista una pavimentazione flessibile composta da:

Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	4 cm
Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	6 cm
Strato di base in conglomerato bituminoso (CB)	10 cm
Strato di fondazione in misto granulare (MG)	<u>30 cm</u>
Totale	50 cm

Infine, per le pavimentazioni della viabilità di ricucitura degli innesti e della relativa viabilità di servizio è prevista una pavimentazione di tipo flessibile così composta:

Strato di usura in conglomerato bituminoso (CB)	4 cm
Strato di collegamento in conglomerato bituminoso (CB)	6 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 $Z_R \cdot S_0$ 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:

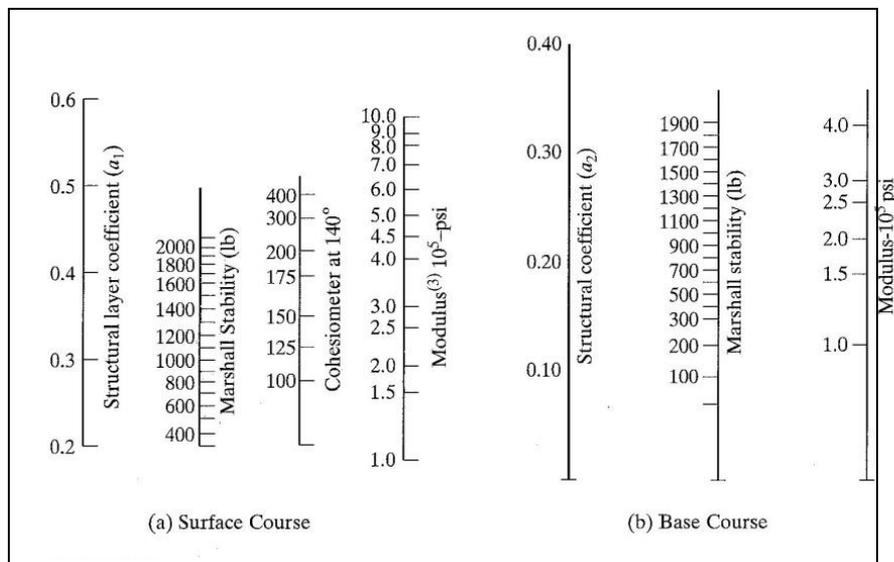


Figura 1: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, stabilità Marshall e modulo resiliente per strati di usura e binder (surface course) e di binder (base course)

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

² 1 psi = 6,91 KPa

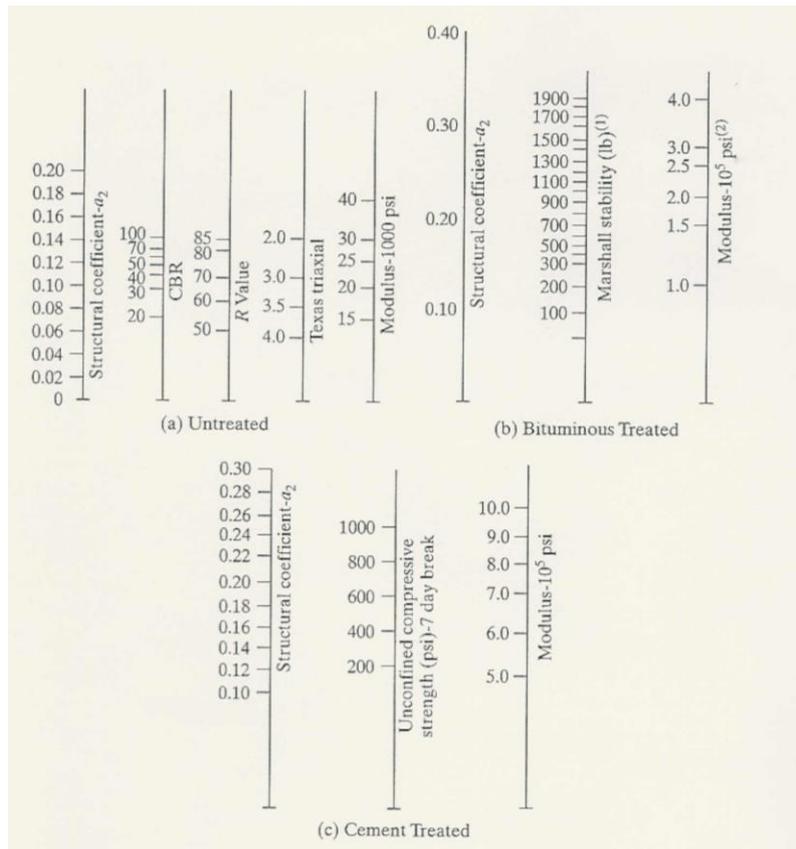


Figura 2: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, stabilità Marshall e modulo resiliente per strati di base

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 per conglomerati di tipo tradizionale è pari $a_1 = 0.44$, corrispondente ad un modulo resiliente dello strato superficiale pari a 3.1 GPa (450.000 Psi).

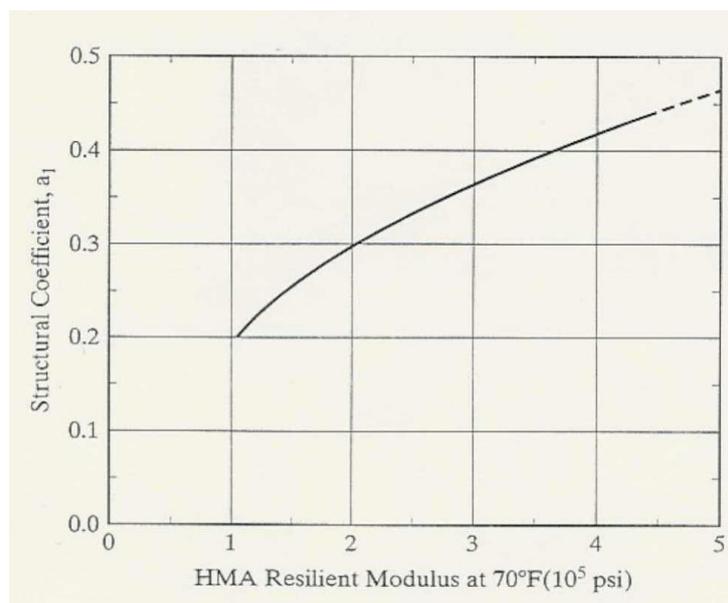


Figura 3: correlazione fra modulo resiliente del conglomerato bituminoso superficiale e coefficiente di spessore

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:

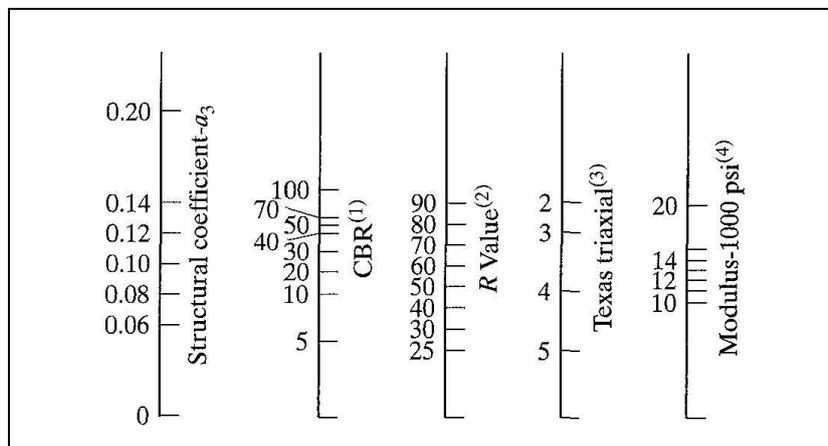


Figura 4: abaco di correlazione fra coefficiente di struttura, modulo resiliente e CBR per strati di fondazione stradale

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_3 al modulo resiliente dello strato.

Per le fondazioni 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 tradizionale: $a_1 = 0.44$
- 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: $a'_2 = 0.22$
- 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 dei 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

Cautelativamente si è adottato un coefficiente $d = 0.8$ sia per lo strato di misto granulare che per quello di misto cementato, così da tener conto della potenziale presenza di acqua nei tratti stradali in trincea.

Risulta pertanto:

- $a'_2 = 0.8 \times 0.22 = 0.18$
- $a_3 = 0.8 \times 0.13 = 0.10$

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).

$$R(\%) = 100 \cdot Prob(N_i \geq N_T) \quad (5)$$

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 $R(\%) = 100 \cdot Prob(\delta_0 \geq 0)$ 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

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 si è adottato un livello di affidabilità pari al 99%, facendo così tesoro delle esperienze maturate nell'esercizio dell'attuale infrastruttura e, quindi, valutando la possibilità che possano svilupparsi lungo il tracciato anomalie localizzate dei terreni di sottofondo.

2.3 ANALISI DEL TRAFFICO

I dati di traffico sono stati desunti dallo studio di traffico riportato nel cap. 6.1 "Traffico atteso" della Relazione Tecnica Stradale (elaborato DA001).

Da esso risulta che il volume di traffico giornaliero medio bidirezionale previsto alla data presunta (2025) di entrata di esercizio della **nuova SS.45** è di 5.935 veicoli/giorno⁴, equamente distribuito sulle due direzioni di marcia e con un'incidenza dei veicoli pesanti del 3.4%. Il tasso medio di crescita individuato è del 1.5% annuo.

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

⁴ Si è supposto che l'infrastruttura entri in esercizio dopo 5 anni dalla data di redazione del presente elaborato. Posto che il volume giornaliero medio attuale (al 2019) è di 5509 veicoli/giorno e supponendo, a vantaggio di sicurezza, un tasso di crescita medio dei veicoli pesanti del 1.5%, pari quello medio rilevato negli ultimi 7 anni (2013-2019), si ricava al 2025 un volume giornaliero medio di 5935 veicoli/giorno.

Si ha che il traffico medio giornaliero bidirezionale dei veicoli pesanti è pari a 202 veicoli/giorno. In un anno transiteranno:

$$365 \times 202 = 73.730 \text{ VP}$$

che corrispondono a 36.865 veicoli pesanti per ciascuna corsia.

Considerando il tasso di crescita del 1.5% annuo e, quindi, un fattore di crescita F_c nei venti anni pari a:

$$20 \cdot F_c = [(1+0,015)^{20}-1]/0.015 = 23.12,$$

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

$$36.865 \times 23,12 = \mathbf{852.319 \text{ VP}}$$

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 a forte traffico⁵ 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)

⁵ Trattandosi dell'ammodernamento di una strada statale, ancorché caratterizzata da un traffico veicolare con una scarsa percentuale di veicoli pesanti, a vantaggio di sicurezza si è supposto che tale percentuale abbia la composizione tipica di una viabilità a forte traffico.

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:		852.319													Totale passaggi per tipo di asse
		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	asse da 15 KN	111.654													111.654
	asse da 30 KN	111.654													111.654
	asse da 40 KN		336.666		67.333										448.320
	asse da 50 KN			89.493										4.262	183.249
	asse da 60 KN					22.160	22.160	21.308		21.308		22.160		89.493	109.097
	asse da 80 KN		336.666												470.480
	asse da 90 KN						22.160								22.160
	asse da 100 KN							63.924				22.160			86.084
	asse da 110 KN			89.493								22.160			111.654
	asse da 120 KN												4.262		4.262
	asse tandem da 160 KN				67.333					44.321					111.654
	asse tandem da 180 KN									21.308					21.308
	asse tandem da 200 KN						22.160			21.308					43.468
	asse triplo da 240 KN										22.160				22.160
	asse triplo da 270 KN											22.160			22.160
asse triplo da 390 KN												4.262		4.262	

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 il traffico sulla viabilità secondaria confluyente nelle rotatorie in progetto, si è fatto riferimento al livello di traffico di primo tipo (minimo) indicato dal Catalogo delle Pavimentazioni (tab.4) del CNR per le strade extra-urbane secondarie ordinarie. Il volume di traffico pesante transitante nei venti anni di vita utile è stato posto pari a 400.000 veicoli.

Anche in questo caso 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 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.

Numero totale passaggi di veicoli pesanti:		CATEGORIA DI VEICOLO													Totale passaggi per tipo di asse
400.000		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	
% 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			235.200												235.200
asse da 50 KN				117.600									800	11.600	130.000
asse da 60 KN						23.600		11.200							34.800
asse da 80 KN			235.200											11.600	246.800
asse da 90 KN															0
asse da 100 KN								33.600							33.600
asse da 110 KN				117.600											117.600
asse da 120 KN													800		800
asse tandem da 160 KN															0
asse tandem da 180 KN															0
asse tandem da 200 KN						23.600									23.600
asse triplo da 240 KN															0
asse triplo da 270 KN															0
asse triplo da 390 KN													800		800

Tabella 5 - 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.

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.

Coerentemente con i contenuti dei capitolati tecnici Anas per la preparazione dei soffi di delle sovrastrutture stradali, si è assunto per 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	8	3,15	0,38	1,20
base in CLB	13	5,12	0,28	1,43
sottobase in MC	15	5,91	0,18	1,06
fondazione in MG	20	7,87	0,10	0,79
Totale	60		Totale	5,17

Tabella 6 - 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=99%)	-2,327
S ₀	0,50
PSI iniziale	4,20
PSI finale	2,50

Tabella 7 - 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 852.319 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	0,400765767	0,001078537	111.654	120
asse da	30	6,74	1	0,404852968	0,01648107	111.654	1.840
asse da	40	8,99	1	0,411053811	0,054912152	448.320	24.618
asse da	50	11,24	1	0,421289204	0,141226913	183.249	25.880
asse da	60	13,48	1	0,436700864	0,304673648	109.097	33.239
asse da	80	17,98	1	0,487862415	0,994997516	470.480	468.127
asse da	90	20,22	1	0,526121344	1,587374816	22.160	35.177
asse da	100	22,47	1	0,574566348	2,386904751	86.084	205.475
asse da	110	24,72	1	0,634539112	3,427548508	111.654	382.699
asse da	120	26,97	1	0,707411268	4,749223121	4.262	20.239
asse tandem da	160	35,96	2	0,487862415	1,368660692	111.654	152.816
asse tandem da	180	40,45	2	0,526121344	2,183500441	21.308	46.526
asse tandem da	200	44,94	2	0,574566348	3,2832873	43.468	142.719
asse tridem da	240	53,93	3	0,487862415	1,64929284	22.160	36.549
asse tridem da	270	60,67	3	0,526121344	2,631208498	22.160	58.308
asse tridem da	390	87,64	3	0,794582352	10,61013112	4.262	45.216
N. totale passaggi asse standard equivalente (n):							1.679.548

Tabella 8 - 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			
PSI iniziale =	4,2			
PSI finale =	2,5			
ZR (95%) =	-2,327		$N_{8,2} =$	12.068.189
So =	0,5		$n_{8,2} =$	1.679.548
log N8,2 =	7,081642			

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 12.068.189 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 1.679.548.

La pavimentazione risulta **verificata**.

4 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DELLA VIABILITÀ SECONDARIA

Si riporta di seguito il calcolo dello Structural Number della pavimentazione prevista sui rami secondari delle rotatorie.

Calcolo del Structural Number Pavimentazione rami secondari				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CLB	4	1,57	0,44	0,69
binder in CLB	6	2,36	0,38	0,90
base in CLB	10	3,94	0,28	1,10
fondazione in MG	30	11,81	0,10	1,18
Totale	50		Totale	3,87

Tabella 9 - calcolo dello Structural Number della pavimentazione degli assi secondari

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

Z _R (R=99%)	-2,327
S ₀	0,50
PSI iniziale	4,20
PSI finale	2,00

Tabella 10 - 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 400.000 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 std equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,402554814	0,001086132	0	0
asse da	30	6,74	1	0,416190872	0,016514103	0	0
asse da	40	8,99	1	0,436878634	0,054689602	235.200	12.863
asse da	50	11,24	1	0,471026791	0,139723564	130.000	18.164
asse da	60	13,48	1	0,522444438	0,300216132	34.800	10.448
asse da	80	17,98	1	0,693133807	0,994822584	246.800	245.522
asse da	90	20,22	1	0,820776391	1,624035409	0	0
asse da	100	22,47	1	0,982402596	2,524187767	33.600	84.813
asse da	110	24,72	1	1,182488658	3,775728814	117.600	444.026
asse da	120	26,97	1	1,425610732	5,475573217	800	4.380
asse tandem da	160	35,96	2	0,693133807	1,368420066	0	0
asse tandem da	180	40,45	2	0,820776391	2,233928619	0	0
asse tandem da	200	44,94	2	0,982402596	3,47212583	23.600	81.942
asse tridem da	240	53,93	3	0,693133807	1,649002876	0	0
asse tridem da	270	60,67	3	0,820776391	2,691976542	0	0
asse tridem da	390	87,64	3	1,716438066	12,82670891	800	10.261
N. totale passaggi asse standard equivalente (n):							912.419

Tabella 11 - 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			
PSI iniziale =	4,2			
PSI finale =	2			
ZR (99%) =	-2,327		$N_{8,2} =$	2.638.640
So =	0,5		$n_{8,2} =$	912.419
log N8,2 =	6,42138			

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 2.638.640 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 912.419.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.

Per quanto riguarda il calcolo della pavimentazione della viabilità d'innesto, si ha:

Calcolo del Structural Number Pavimentazione viabilità d'innesto				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CLB	4	1,57	0,44	0,69
binder in CLB	6	2,36	0,38	0,90
base in CLB	10	3,94	0,28	1,10
fondazione in MG	20	7,87	0,10	0,79
Totale	40		Totale	3,48

Tabella 12 - calcolo dello Structural Number della pavimentazione degli assi secondari

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

Z _R (R=90%)	-1,282
S ₀	0,45
PSI iniziale	4,20
PSI finale	2,00
M _R (7000 PSI)	50 N/mm ²

Tabella 13 - 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 400.000 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 std equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,403955498	0,001146232	0	0
asse da	30	6,74	1	0,425067558	0,017280183	0	0
asse da	40	8,99	1	0,45709744	0,0566312	235.200	13.320
asse da	50	11,24	1	0,50996741	0,142891814	130.000	18.576
asse da	60	13,48	1	0,589574915	0,30353316	34.800	10.563
asse da	80	17,98	1	0,853845167	0,99483202	246.800	245.525
asse da	90	20,22	1	1,051468124	1,6254626	0	0
asse da	100	22,47	1	1,301706308	2,535537538	33.600	85.194
asse da	110	24,72	1	1,611490065	3,811830284	117.600	448.271
asse da	120	26,97	1	1,987904438	5,558258766	800	4.447
asse tandem da	160	35,96	2	0,853845167	1,368433046	0	0
asse tandem da	180	40,45	2	1,051468124	2,23589178	0	0
asse tandem da	200	44,94	2	1,301706308	3,487737915	23.600	82.311
asse tridem da	240	53,93	3	0,853845167	1,649018517	0	0
asse tridem da	270	60,67	3	1,051468124	2,694342233	0	0
asse tridem da	390	87,64	3	2,438178602	13,08978744	800	10.472
				N. totale passaggi asse standard equivalente (n):			918.677

Tabella 14 - Calcolo del numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80kN

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

Modulo Resiliente (psi) =	7.000			
PSI iniziale =	4,2			
PSI finale =	2			
ZR (90%) =	-1,282		$N_{8,2} =$	1.164.238
So =	0,45		$n_{8,2} =$	918.677
log N8,2 =	6,066042			

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 1.164.238 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 918.677.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.