

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)**

VIABILITA'

Elaborati Generali

Relazione di calcolo sovrastruttura stradale tipo 1

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

RS3U 40 D 29 RH NV0000 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	E.Leggieri-L.Visci	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	F.Arduini Feb-2020
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Feb-2020	E.Leggieri-L.Visci	Feb-2020	A.Barreca A.Barreca	Feb-2020	ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Emilio Arduini Dott. Ing. Roberto Motta Dott. Ing. Roberto Motta Dott. Ing. Roberto Motta

File: RS3U.4.0.D.29.RH.NV.00.0.0.002.B

n. Elab.: 29\_169

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
3	SOVRASTRUTTURA STRADALE DI PROGETTO .....	5
3.1	PORTANZA DEL SOTTOFONDO .....	8
3.2	MIX DESIGN .....	8
4	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE .....	9
4.1	PAVIMENTAZIONE TIPO 1 (CATEGORIA C EXTRAURBANA SECONDARIA E F LOCALE EXTRAURBANA) .....	9
4.1.1	<i>Sovrastruttura stradale di progetto</i> .....	9
4.1.2	<i>Traffico di progetto</i> .....	9
4.1.3	<i>Descrizione della verifica attraverso l'AASHTO</i> .....	10
4.1.4	<i>Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number"</i> .....	11
4.1.5	<i>Calcolo del traffico in assi standard equivalenti (<math>N_{8,2ton}</math>)</i> .....	15
4.1.6	<i>Calcolo del traffico sopportabile (<math>W_{18}</math>)</i> .....	18
4.1.7	<i>Verifica della sovrastruttura</i> .....	19
5	CONCLUSIONI .....	20

## 1 PREMESSA

Nell'ambito del Progetto Definitivo della tratta Caltanissetta Xirbi - Enna di cui il Nuovo Collegamento Palermo-Catania, sono previsti interventi riferiti alle viabilità riguardanti:

1. adeguamento delle viabilità esistenti interferite dalla nuova linea ferroviaria di progetto;
2. realizzazione di nuove viabilità per il collegamento della rete stradale esistente /di progetto alle fermate della linea ferroviaria di progetto;
3. realizzazione di nuove viabilità per il collegamento della rete stradale esistente/di progetto con i fabbricati tecnologici e SSE previsti in progetto;
4. viabilità di ricucitura con adeguamento e ripristino dei collegamenti stradali esistenti.

Oggetto della presente relazione è la descrizione e la verifica delle **pavimentazioni** adottate per le viabilità previste in progetto, nello specifico, è riportato il calcolo delle sovrastrutture denominate di “tipo 1” (vedi Tabella 2, §3).

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

## 2 **NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Per il progetto delle viabilità sono state considerate le principali normative di riferimento riportate nel seguito:

- [N.1]. D.M. 5 novembre 2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”;
- [N.2]. D.M. 22 aprile 2004 “Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade””;
- [N.3]. Linee guida per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti – 21 marzo 2006;
- [N.4]. Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n. 285 Nuovo codice della strada e s.m.i.;
- [N.5]. D.P.R. 16 dicembre 1992 n. 495 Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada;
- [N.6]. Decreto 19/04/2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”;
- [N.7]. D.M. 18/02/1992: “Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza”;
- [N.8]. D.M. 03/06/1998: “Istruzioni tecniche sulla progettazione, omologazione ed impiego delle barriere di sicurezza stradale”;
- [N.9]. D.M. 21/06/2004: “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale”.
- [N.10]. CNR n.178 settembre 1995 – Catalogo delle pavimentazioni stradali

### 2.2 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

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

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

### 3 SOVRASTRUTTURA STRADALE DI PROGETTO

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

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

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

In base alla funzione che svolgono all'interno del reticolo stradale le viabilità previste in progetto sono state inquadrare nelle seguenti famiglie:

- di uso esclusivo FS: qualora la viabilità in essere è esclusivamente ed occasionalmente impegnata da traffico selezionato, non civile, appositamente regolamentato a mezzo di idonea cartellonistica stradale e/o vincolato dall'impiego di cancelli di accesso alle aree (ad es. rampe di accesso a piazzali tecnici, viabilità di accesso ai piazzali di emergenza, ecc.). Rientrano tra queste viabilità le seguenti: NV90, NV91, NV93, NV94, NV95, NV96, NV97, NV98.
- di accesso alle stazioni: rientrano tra queste viabilità le seguenti: NV04A, NV04B, NV05A, NV05B, NV05C.
- adeguamento di strade esistenti: ai sensi del DM 22/04/2004. Rientrano tra queste viabilità le seguenti: NV01, NV02, NV03, NV06, NV04E, NV05E.

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

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

Spessori strato [cm]	CATEGORIA DI STRADA		
	C2 Extraurbana	F1 Extraurbana	Destinazione particolare
<b>Usura</b>	4	4	4
<b>Binder</b>	6	6	5
<b>Base <sup>(1)</sup></b>	10	10	8
<b>Fondazione <sup>(2)</sup></b>	30	30	20
<b>Supercompattato</b>	30	30	30

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

<sup>1</sup> In misto bitumato (conglomerato bituminoso aperto)

<sup>2</sup> Miscela di inerti stabilizzati per granulometria e compattati

Tabella 3 – Tipologia di pavimentazione associata ad ogni viabilità

Lotto 4: tratta Caltanissetta Xirbi - Enna				
Tipologia di pavimentazione associata ad ogni viabilità				
WBS	Descrizione	Inquadramento funzionale	Sezione Tipo Piattaforma	Pavimentazione
NV04A	Nuova viabilità – accesso alla stazione Caltanissetta–Xirbi SUD	F1	F extraurbana L = 9,0 m	1
NV04B	Nuova viabilità – accesso alla stazione Caltanissetta–Xirbi SUD	F1	F extraurbana L = 9,0 m	1
NV04E	Adeguamento viabilità esistente – accesso all’area di stoccaggio	Strada a destinazione particolare	L = 6.0m	2
NV05A	Adeguamento viabilità esistente – accesso alla stazione di Caltanissetta-Xirbi NORD	F1	F extraurbana L = 9,0 m	1
NV05B	Adeguamento viabilità esistente – accesso alla stazione di Caltanissetta-Xirbi NORD	C2	L = 9.5m	1
NV05C	Adeguamento viabilità esistente – accesso alla stazione di Caltanissetta-Xirbi NORD	C2	L = 9.5m	1
NV05E	Ripristino viabilità esistente - interpoderale	Strada a destinazione particolare	L = 4.0m	*
NV01	Adeguamento viabilità esistente – accesso contrada	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2
NV06	Adeguamento viabilità esistente – accesso contrada	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2
NV02	Adeguamento viabilità esistente – interpoderale	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2
NV03	Adeguamento viabilità esistente – Variante SS 192	C2	L = 9.5m	1
NV90	Viabilità di accesso al piazzale di soccorso – Galleria Montestretto (lato Palermo)	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2

Lotto 4: tratta Caltanissetta Xirbi - Enna				
Tipologia di pavimentazione associata ad ogni viabilità				
WBS	Descrizione	Inquadramento funzionale	Sezione Tipo Piattaforma	Pavimentazione
NV91	Viabilità di accesso alle uscite di emergenza – Galleria Montestretto	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2
NV93	Viabilità di accesso al piazzale di soccorso – Galleria Montestretto (lato Catania)	Strada a destinazione particolare	L = 4.0m	2
NV94	Viabilità di accesso al piazzale di soccorso – Galleria Salso (lato Palermo)	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2
NV95	Viabilità di accesso al piazzale di soccorso – Galleria Salso (lato Catania)	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2
NV96	Viabilità di accesso al piazzale di soccorso – Galleria Salso (lato Catania)	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2
NV97	Viabilità di accesso al piazzale di soccorso – Galleria Trinacra (lato Palermo)	F1	F extraurbana L = 9,0 m	1
NV98	Viabilità di accesso al piazzale PM Villarosa	Strada a destinazione particolare	L = 6.5m	2

\* La viabilità NV05E è caratterizzata da una pavimentazione in materiale sciolto; nello specifico risulta essere costituita da uno strato di fondazione, di aggregati stabilizzati e compattati dello spessore finito non minore di cm 25, saturato con graniglia o pietrischetto, coerentemente alle indicazioni del manuale RFI.

### 3.1 PORTANZA DEL SOTTOFONDO

La portanza del sottofondo è espressa attraverso il Modulo Resiliente  $M_r$ .

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

$$M_r = 10 * CBR (\%)$$

dove:

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

$$CBR (\%) = 0.2 * M_d$$

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

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

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

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

### 3.2 MIX DESIGN

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

## 4 VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

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

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

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

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

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

### 4.1 PAVIMENTAZIONE TIPO 1 (CATEGORIA C EXTRAURBANA SECONDARIA E F LOCALE EXTRAURBANA)

#### 4.1.1 Sovrastruttura stradale di progetto

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

- 4.000.000 di veicoli corrispondenti al 3° livello

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

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

#### 4.1.2 Traffico di progetto

Non avendo a disposizione i dati di traffico nell'area oggetto di intervento si è assunto un traffico commerciale previsto pari a 4.000.000 di veicoli (corrispondente al 3° livello di traffico richiamato nel catalogo [N.10]).

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

- Vita Utile della pavimentazione  $N = 20$  anni

- percentuale dei veicoli commerciali  $p_c = 5\%$
- tasso incremento annuo traffico commerciale  $R = 2.5\%$

si determina il valore del Traffico Giornaliero Medio.

**DETERMINAZIONE DEL TGM  
DAL NUMERO DI PASSAGGI DI VEICOLI COMMERCIALI AL "N" ANNO**

$$n_{vca} = TGM_{TOT} \cdot p_{sm} \cdot p_c \cdot p_{corsia} \cdot 365$$

Tipologia di Strada	<i>Extraurbana Secondaria - Ordinarie</i>	<b>C1</b>	
Vita Utile della Pavimentazione	<i>N</i>	<b>20</b>	[anni]
Traffico Giornaliero Medio	<i>TGM</i>	<b>12.257</b>	[veic./gg]
Percentuale traffico nel senso di marcia	<i>p<sub>sm</sub></i>	<b>70</b>	[%]
Percentuale veicoli commerciali	<i>p<sub>c</sub></i>	<b>5,0</b>	[%]
Percentuale veicoli commerciali sulla corsia	<i>p<sub>corsia</sub></i>	<b>1,0</b>	
Tasso incremento annuo traffico commerciale	<i>R</i>	<b>2,5</b>	[%]

Traffico annuo  $n_{vca}$  156.589

$$T^N = n_{vca} \cdot \left[ \frac{(1 + R)^N - 1}{R} \right]$$

Traffico commerciale previsto  $T^N$  **4.000.000**

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

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

#### 4.1.3 Descrizione della verifica attraverso l'AASHTO

Nella metodologia dell'“AASHTO Guide for Design of Pavement Structures” si tiene conto della “resistenza strutturale” della pavimentazione attraverso un parametro che va sotto il nome di “*structural number*” SN.

Esso è funzione degli spessori degli strati  $s_i$ , della “resistenza” dei materiali impiegati rappresentata attraverso i “coefficienti strutturali di strato”  $a_i$  e della loro sensibilità all'acqua rappresentata attraverso i “coefficienti di drenaggio”  $m_i$ .

L'espressione analitica dello *structural number* è:  $SN = \sum_i a_i \cdot m_i \cdot S_i$

dove:

- $i$  è il numero degli strati costituenti la sovrastruttura stradale;
- $a_i$  è un coefficiente che esprime la capacità relativa dei materiali impiegati nei vari strati della pavimentazione a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura. Tali coefficienti sono funzione del tipo e proprietà del materiale.
- $S_i$  è lo spessore dello strato;
- $m_i$  è un coefficiente funzione della qualità del drenaggio e della percentuale di tempo durante il quale la pavimentazione è esposta a livelli di umidità prossimi alla saturazione. Per il minor effetto che l'acqua ha sui materiali legati quali i conglomerati bituminosi rispetto a quelli non legati il coefficiente di drenaggio viene considerato solo per il misto granulare sciolto dello strato di fondazione. Tale coefficiente varia tra 0.4 e 1.4 però facendo riferimento ad una percentuale di tempo durante il quale si è in presenza di livelli di umidità prossimi alla saturazione compresi tra il 5 % e il 25% ed una qualità del drenaggio media si assume uguale ad 0.9.

Nello specifico i coefficienti strutturali relativi agli strati di usura ( $a_1$ ) e di base ( $a_3$ ) si ricavano direttamente dai monogrammi presenti sull'AASHTO GUIDE in funzione della stabilità Marshall scelta per i rispettivi strati. Il valore del coefficiente relativo allo strato di collegamento ( $a_2$ ) si ricava per interpolazione lineare dei parametri  $a_1$  e  $a_3$ , ricavati sempre dall'ASSHTO GUIDE però con il valore della stabilità Marshall relativa allo strato di collegamento, con le rispettive quote. Infine, il coefficiente relativo allo strato di fondazione ( $a_4$ ) si ricava sempre dall'ASSHTO GUIDE in funzione del CBR.

Si osserva che poiché in Italia si utilizza lo strato superficiale in usura e binder, con conseguente minore rigidità a parità degli altri fattori (quali ad esempio spessori degli strati, materiali), i valori ottenuti da tali monogrammi per tali strati sono stati ridotti nella misura del 10%.

#### 4.1.4 Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number"

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

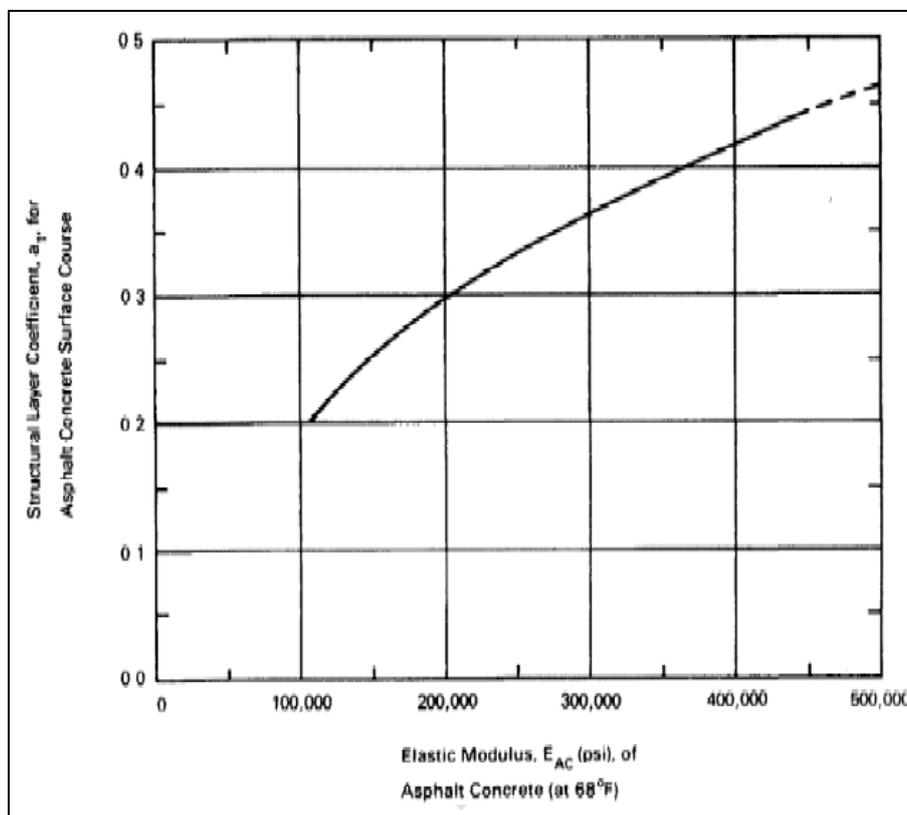
Per il coefficiente dello strato di usura l'AASHTO prevede come dato di input il Modulo Resiliente a 68°F (20°C). il modulo resiliente verrà calcolato tramite la formulazione del modulo complesso:

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

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

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

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



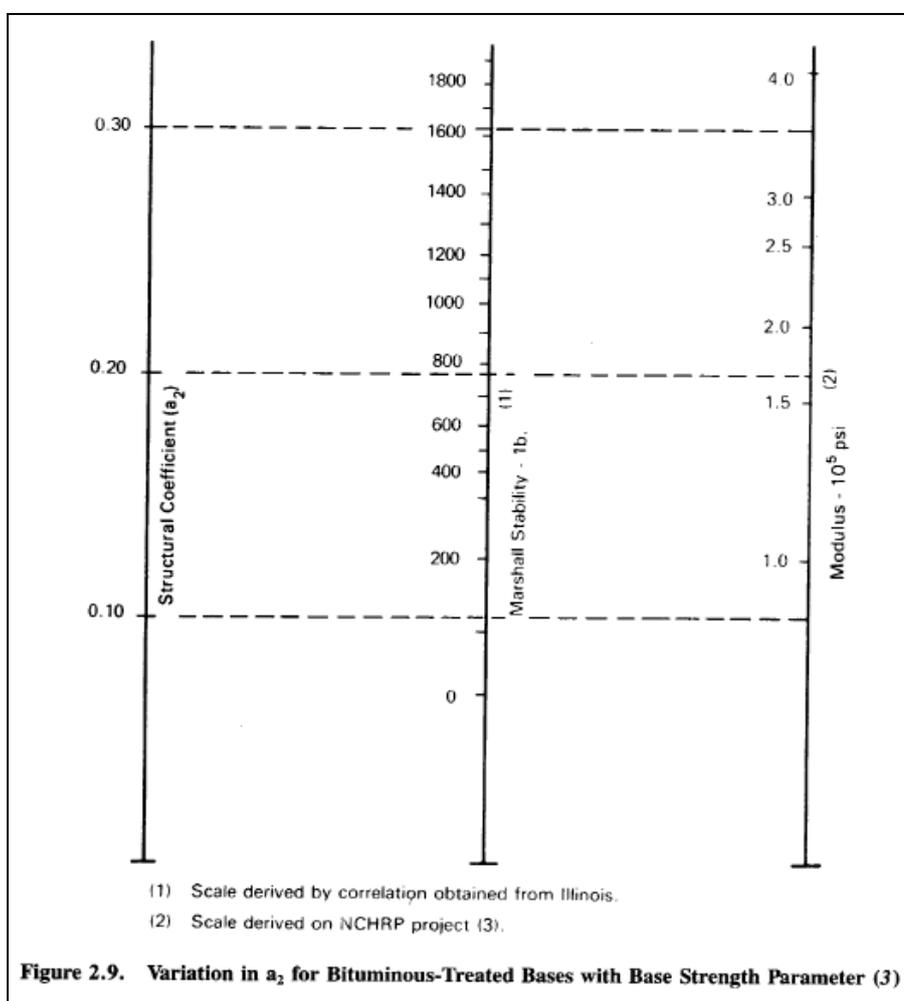
$E^* = 455$ [PSI]	$a_1 = 0.45$
-------------------	--------------

Tale valore viene poi ridotto del 10% nei calcoli, risultando pari a 0.405.

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

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

S <sub>M50</sub> =1467 [lb]	a <sub>3</sub> =0.28
-----------------------------	----------------------

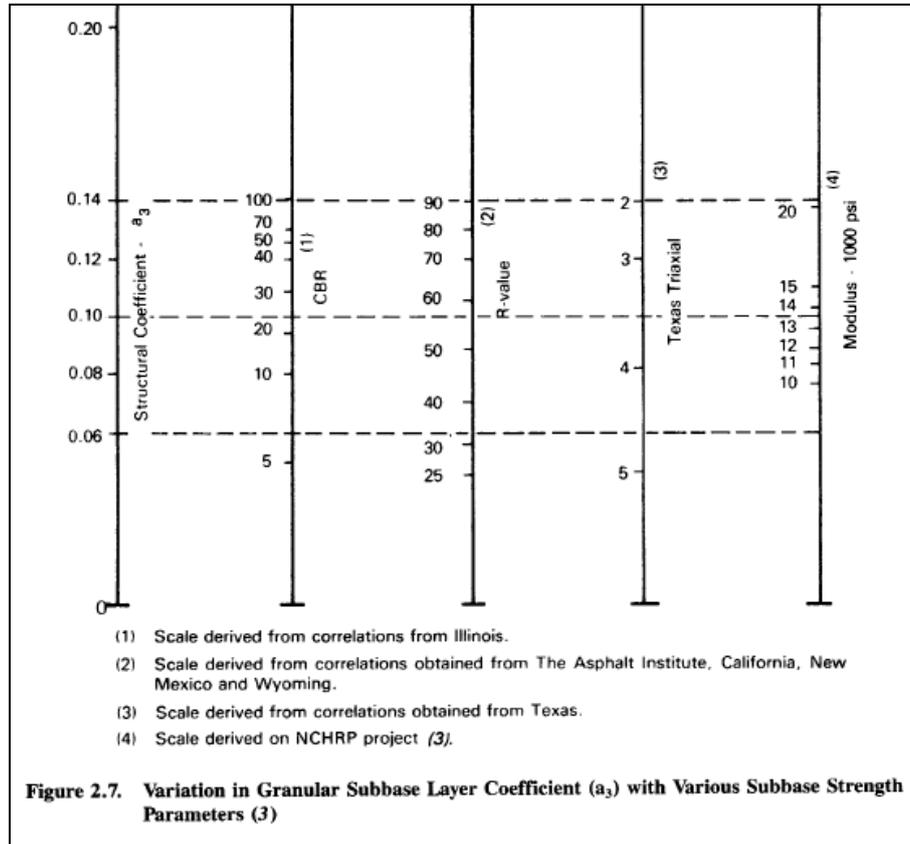


Poiché lo strato di collegamento non è previsto nella configurazione standard impiegata nell'esperimento AASHTO Guide il coefficiente  $a_2$  verrà calcolato interpolando linearmente i coefficienti dell'usura e della base.

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

$$a_2=0.32$$

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



$$a_4 = 0.12$$

DA CAPITOLATO ANAS

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

Il calcolo dello Structural Number viene riportato di seguito.

### CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER "SN"

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

Structural Number **SN** **9,59** [cm]

	<b>z<sub>i</sub> [cm]</b>	<b>a<sub>i</sub></b>		<b>m<sub>i</sub></b>	
Usura	<b>4</b>	0,41	a <sub>1</sub>		
Collegam.	<b>6</b>	0,32	a <sub>2</sub>		
Base	<b>10</b>	0,28	a <sub>3</sub>	1	m <sub>1</sub>
Fondazione MG	<b>30</b>	0,12	a <sub>4</sub>	0,9	m <sub>2</sub>

*Step 2 – Calcolo dello Structural Number SN*

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

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

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

Per il suddetto spettro, in mancanza di una migliore determinazione, si impiega quello proposto dalle norme CNR 178/1995 [N.10].

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

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

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

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

Tabella 4 – Tipologia di traffico secondo le Norme CNR [N.10]

Nel presente caso si associa alla viabilità oggetto di verifica lo spettro di traffico corrispondente al n.4: “*strade extraurbane secondarie ordinarie*”, richiamato in Tabella 4.

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

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

dove:

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

**CALCOLO DEL NUMERO DI PASSAGGI DI ASSI STANDARD EQUIVALENTI**

Numero di passaggi di assi standar equivalenti

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

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

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

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

Structural Number	SN	9,59	[cm]
Peso dell'asse i-esimo	$P_i$		[kN]
	$T_i$	1	asse singolo
		2	asse tandem
		3	asse tridem

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

**C<sub>SNI</sub> 2,1089951**

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

**N<sub>8,2</sub> 8.435.980**

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

A seguire si riassumono i calcoli svolti:

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

**T<sup>N</sup> 4.000.000**

C	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Tridem [kN]			
	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	80+80	90+90	100+100	80+80+80	90+90+90	130+130+130	
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5880	0,000	0,000	0,000	0,000	0,588	0,000	0,000	0,588	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2940	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,294	0,000	0,000	0,000	0,000	0,294	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0590	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0280	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,000	0,000	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0290	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,000	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5880	0,3250	0,0870	0,6170	0,0000	0,0840	0,2940	0,0020	0,0000	0,0000	0,0590	0,0000	0,0000	0,0020	0,0000

	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Tridem [kN]			
	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	160	180	200	240	270	390	
B	0,40109	0,40285	0,40597	0,41808	0,44119	0,47934	0,53678	0,72749	0,87010	1,05068	1,27424	1,54588	0,72749	0,87010	1,05068	0,72749	0,87010	1,87083	
B <sub>8,2</sub>	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749	0,72749
A	3,44857	2,83239	2,36017	1,66109	1,15602	0,77009	0,46416	0,00000	-0,18755	-0,35723	-0,51389	-0,66045	-0,13847	-0,32603	-0,49571	-0,21948	-0,40703	-1,01814	
C <sub>SNi</sub>	0,00036	0,00147	0,00436	0,02182	0,06982	0,16979	0,34343	1,00000	1,54012	2,27631	3,26506	4,57560	1,37554	2,11849	3,13116	1,65758	2,55287	10,42647	
n°C <sub>SNi</sub>	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,041055	0,055182	0,029878	0,617000	0,000000	0,191210	0,959927	0,009151	0,000000	0,000000	0,184739	0,000000	0,000000	0,020853	2,108995
G	-0,200914843																		

#### 4.1.6 Calcolo del traffico sopportabile ( $W_{18}$ )

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

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

in cui:

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

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

**CALCOLO DEL NUMERO MASSIMO DI ASSI STANDARD SOPPORTABILI DALLA PAVIMENTAZIONE**

Affidabilità	$R$	80	[%]
	$Z_R$	-0,841	
	$S_0$	0,45	
Grado efficienza iniziale	$PSI_{iniz}$	4,2	
Grado efficienza finale	$PSI_{fin}$	2,5	
Structural Number	$SN$	3,77	[poll]
Modulo resiliente del sottofondo	$Mr (psi)$	13050	[psi]

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

$log W_{18}$	6,97845
$W_{8,2}$	9.515.883

**PAVIMENTAZIONE VERIFICATA**

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

#### 4.1.7 Verifica della sovrastruttura

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

- n. di passaggi sopportabili  $W_{8,2t} = 9.515.883$
- n. di passaggi previsti  $N_{8,2t} = 8.435.980$

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

## 5 CONCLUSIONI

Il progetto della sovrastruttura stradale è stato condotto dapprima fissando il Traffico Commerciale (pari a 4.000.000 di veicoli corrispondenti al 3° livello per la categoria C ed F) e successivamente calcolando il Traffico Giornaliero Medio (TGM), secondo quanto indicato dal Catalogo delle Pavimentazioni Stradali. Ai fini del calcolo del TGM sono stati ipotizzati la percentuale di veicoli pesanti e la percentuale del tasso di incremento annuo del traffico.

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

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

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