

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

PROGETTO ESECUTIVO

RIASSETTO NODO DI BARI

TRATTA A SUD DI BARI

VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE

Ottemperanza alle prescrizioni Delibera CIPE 28/01/2015

Canale idraulico di collegamento tra la lama San Marco e la lama Valenzano e strade di ricucitura urbana dei fondi interclusi

Relazione tecnica di dimensionamento della sovrastruttura stradale

SCALA:

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

I A 1 U 0 3 E 7 8 R H N V 0 3 0 0 3 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	G. Ficorella	Gennaio 2022	G. Maurino	Gennaio 2022	G. Dimaggio	Gennaio 2022	

Digita qui il testo

ITALENERGIA S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
Dipartimento Infrastruttura e Mobilità
UO Coordinamento Territoriale Sud
Piazzale San Marco 100 - 00187 Roma
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 76878

File: IA1U03E78RHNV0000001A

n. Elab.:-

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3	PROGETTO STRADALE	6
3.1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	6
3.2	PIATTAFORMA STRADALE: SEZIONI TIPO.....	6
3.3	PORTANZA DEL SOTTOFONDO.....	8
3.4	MIX DESIGN.....	8
4	SCELTA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE DI PROGETTO.....	9
5	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE	10
5.1	GENERALITÀ	10
5.2	TRAFFICO DI PROGETTO.....	10
5.3	DESCRIZIONE DELLA VERIFICA ATTRAVERSO L' AASHTO	11
5.4	CARATTERISTICHE STRUTTURALI: CALCOLO DELLO "STRUCTURAL NUMBER".....	12
5.5	CALCOLO DEL TRAFFICO IN ASSI STANDARD EQUIVALENTI ($N_{8,2TON}$).....	16
5.6	CALCOLO DEL TRAFFICO SOPPORTABILE (W_{18}).....	19
5.7	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA.....	21
6	CONCLUSIONI	22

1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo descrive la verifica della sovrastruttura stradale da realizzarsi per le viabilità di ricucitura nell'ambito delle cosiddette "Opere anticipate" relativamente al progetto più ampio relativo al "Riassetto Nodo di Bari - Tratta a Sud di Bari: variante di tracciato tra Bari Centrale e Bari Torre a Mare".

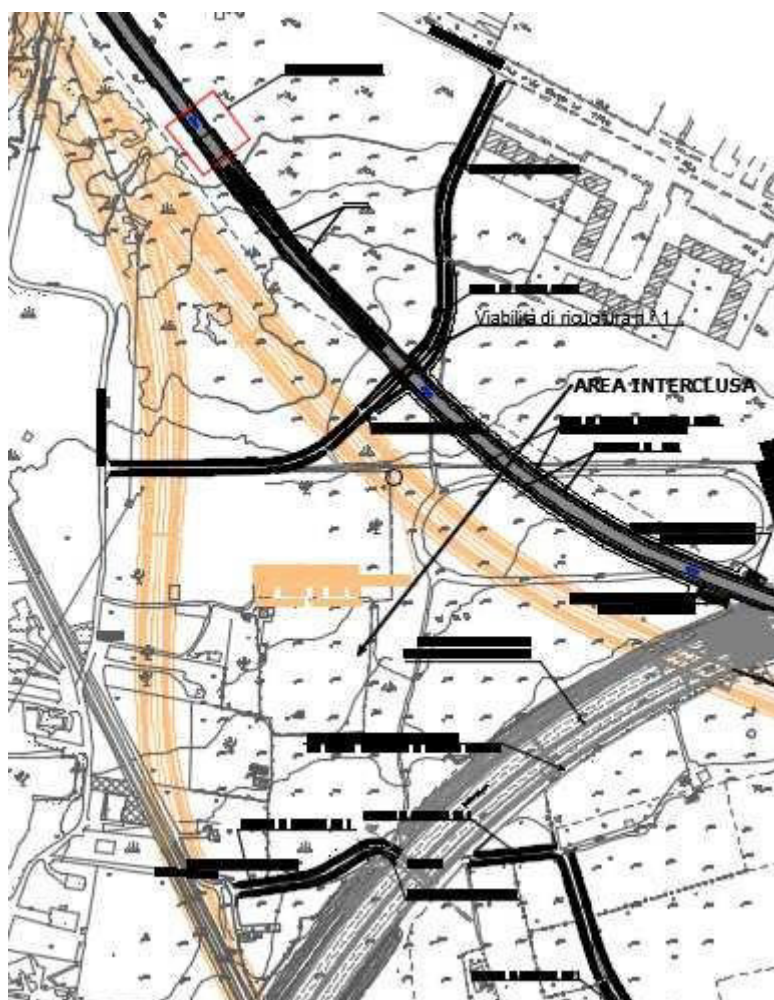


Figura 1 - Inquadramento territoriale delle viabilità oggetto di intervento (ricucitura 1, 2, 4)

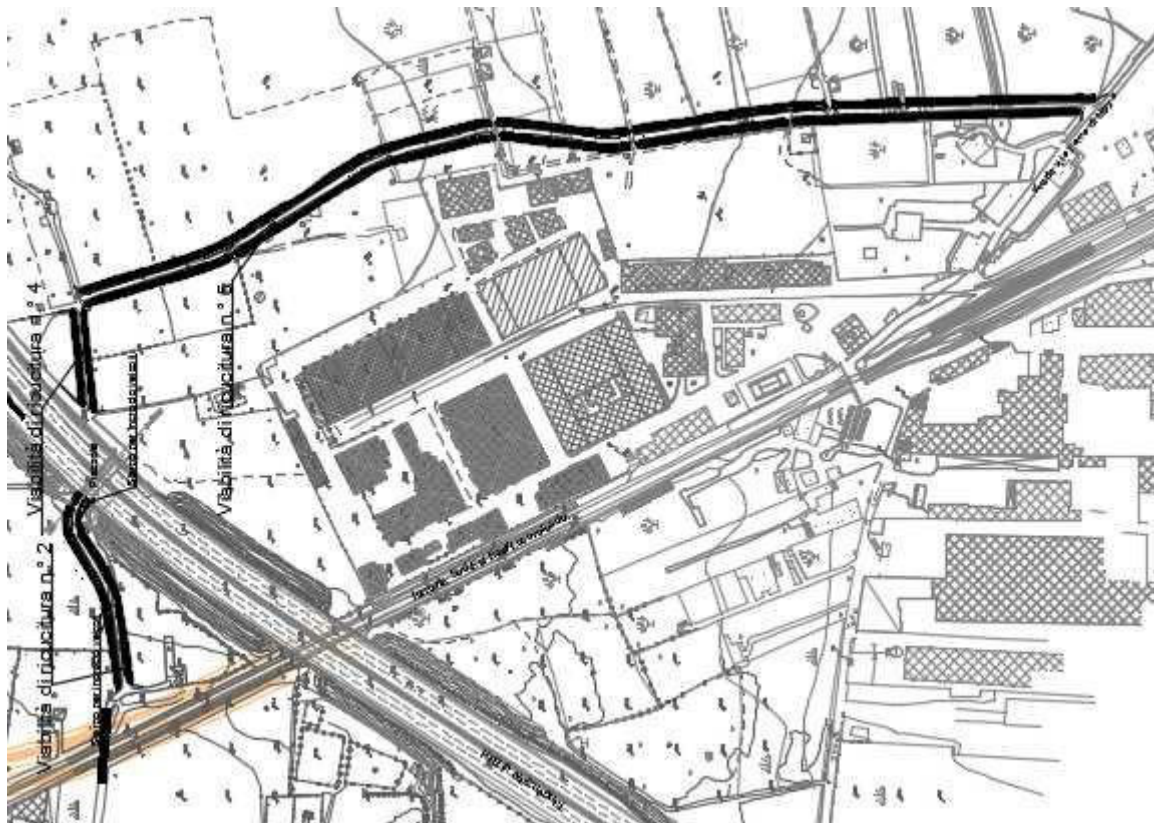


Figura 2 - Inquadramento territoriale delle viabilità oggetto di intervento (ricucitura 5)

Per la scelta della pavimentazione da adottare si è fatto riferimento al “*Catalogo delle pavimentazioni stradali*” redatto dal *Consiglio Nazionale delle Ricerche*. Il catalogo delle pavimentazioni stradali suggerisce al progettista un ventaglio di soluzioni di sovrastrutture stradali di varie tipologie per le condizioni di traffico e ambientali tipiche dell’Italia.

Le tipologie di pavimentazioni che vengono considerate sono di tipo: flessibile, semirigida e rigida. Per ciascuna di esse, il catalogo, fornisce soluzioni che, per un determinato tipo di strada, portanza del sottofondo e condizioni di traffico, sono equivalenti tra loro sotto l’aspetto della durata strutturale, ma differenti per i materiali impiegati, per gli spessori degli strati e per i costi.

Successivamente, 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*).

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

- [N.1]. D.M. 14-01-08 (NTC-2008) – Norme Tecniche per le Costruzioni
- [N.2]. D.M. 05-11-2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade
- [N.3]. CNR n.178 Settembre 1995 – Catalogo delle pavimentazioni stradali

2.2 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- [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. Pellecchia – Napoli, Dicembre 1989

3 PROGETTO STRADALE

3.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

A seguito della modifica della soluzione progettuale dell'interferenza tra la tangenziale di Bari SS 16 e la linea FS di progetto, è stato necessario prevedere un sistema di ricuciture locali, con viabilità che restituissero l'accesso all'area che resta interclusa tra la linea FS in progetto, la variante alla linea FSE e la variante altimetrica in sede della tangenziale di Bari.

L'ambito territoriale di interesse è inquadrabile senza dubbio come locale trattandosi di un'area ristretta e interclusa. Inoltre, considerata la funzione di riconnessione sostanziale tra fondi a prevalenza agricola, le viabilità previste sono collocabili nell'ambito delle strade agricole di connessione tra fondi.

3.2 PIATTAFORMA STRADALE: SEZIONI TIPO

In coerenza con la riduzione di permeabilità generata dalla rete infrastrutturale di cui si è detto (perdita della biunivocità Nord - Sud) aggravata dall'allungamento del percorso di accesso all'area, si è scelto di adottare, all'interno della categoria individuata (strada a destinazione particolare) una sorta di gerarchia funzionale: infatti, la viabilità denominata n. 5 che svolge la funzione di ripristinare l'accesso all'area interclusa e nel suo sviluppo consente anche la connessione di fondi presenta una sezione che pur restando con percorrenza a senso unico alternato, permette, con continuità, in ogni tratto la possibilità di incrocio tra i veicoli sfruttando la larghezza della carreggiata (comprensiva di banchine). La sezione è ad unica corsia (senso unico alternato) da 3.75 m con due banchine pari a 0.925 m per un totale di 5.60 m che consente l'incrocio di veicoli.

Le altre viabilità di ricucitura previste nell'intervento, essendo finalizzate esclusivamente alla riconnessione dei fondi presentano una sezione con corsia unica di 3.00 m e banchine da 0.50 m e saranno dotate di slarghi per gli incroci dei veicoli.

Per tutte il limite di velocità massimo è pari a 30 km/h.

Il corpo stradale si sviluppa in rilevato con altezze molto modeste.

L'organizzazione delle sezioni trasversali delle viabilità di ricucitura è illustrata nella figura seguente.

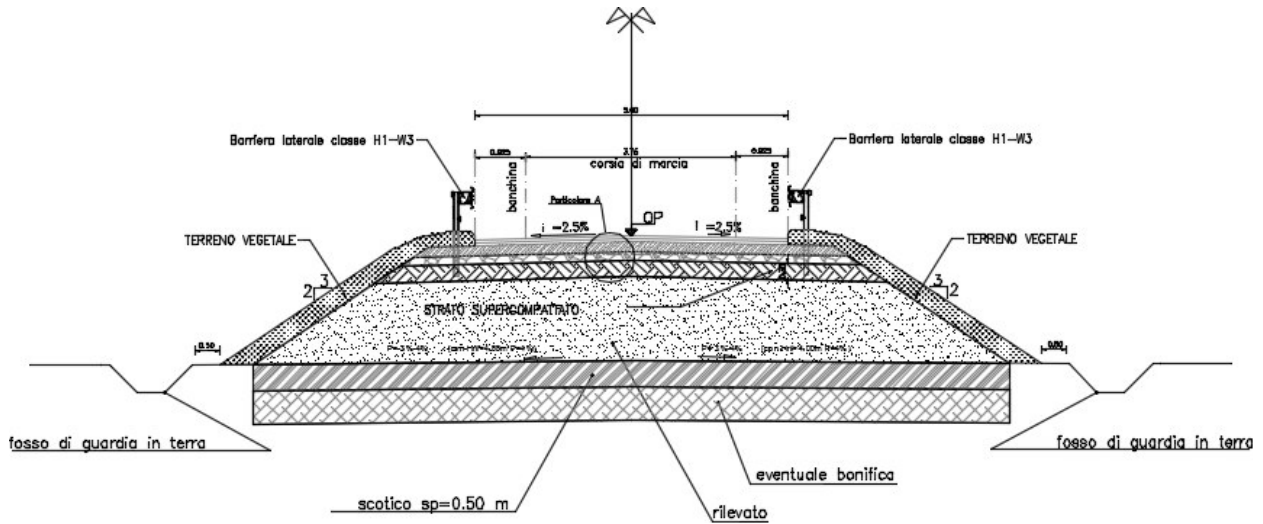


Figura 3 – Sezione tipologica ricucitura n.5 (senso unico alternato B= 5.60 m)

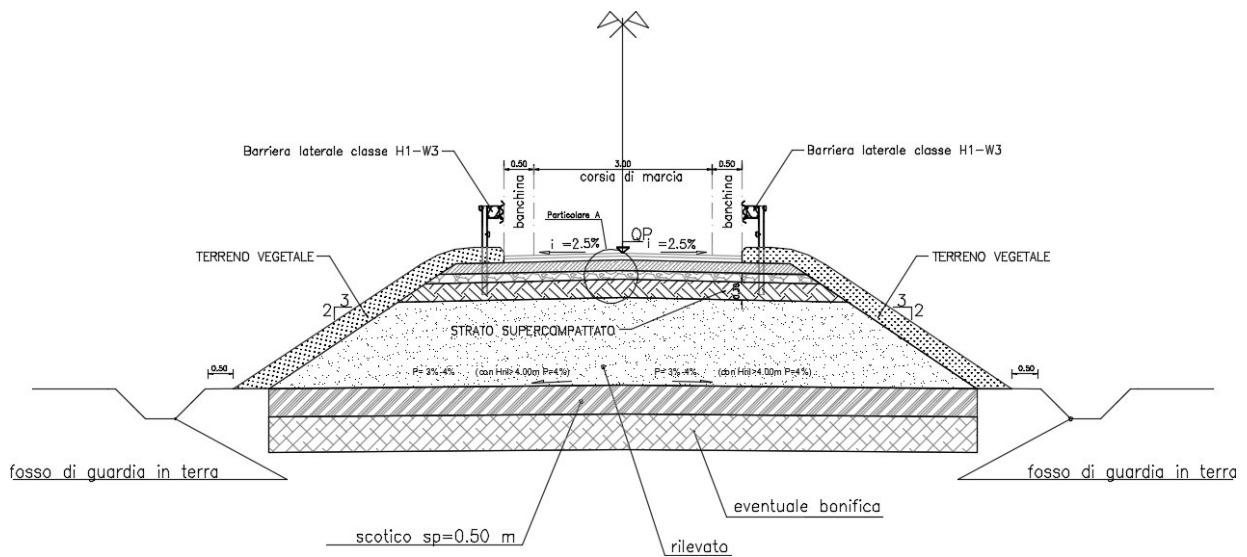


Figura 4 – Sezione tipologica ricucitura n.1-2-4 (senso unico alternato B= 4.00 m)

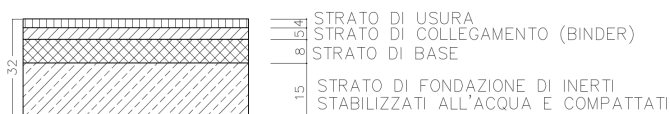


Figura 5 – Particolare del pacchetto della sovrastruttura stradale

Si segnala che nella formazione del corpo del rilevato stradale è prevista la realizzazione di uno strato di sottofondazione in terre di categoria A₁, A₂₋₄, A₂₋₅ ed A₃ denominato supercompattato di spessore 30cm con modulo di deformazione pari a $M_d = 50\text{MPa}$;

L'inserimento dello strato di sottofondazione, aumentando la rigidità dell'intera sovrastruttura, garantisce una minore deformabilità e in definitiva una maggiore durata. Al fine di ottenere un risultato a favore di sicurezza, nel dimensionamento della sovrastruttura stradale tale strato non verrà preso in considerazione.

3.3 PORTANZA DEL SOTTOFONDO

La portanza del sottofondo viene espressa attraverso il Modulo Resiliente M_r .

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

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

dove:

$\text{CBR} (\% \text{ Californian Bearing Ratio}) =$ Indice di portanza del sottofondo, tale che sia

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

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:

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

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

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

3.4 MIX DESIGN

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

4 SCELTA DELLA 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 – 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

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

Il catalogo delle pavimentazioni [N.3] presenta schede per ognuna delle categorie di strada del Nuovo Codice, con esclusione delle strade extraurbane locali per l'atipicità del traffico che può interessarle (strade agricole, forestali, ecc.).


Non avendo un riferimento diretto dal Catalogo per la tipologia di strada in oggetto si sono valutate le diverse schede costituenti il Catalogo stesso sulla base della classe di traffico inteso come numero di passaggi di veicoli commerciali, della categoria di sottofondo, tipologia di strada e della tipologia di sovrastruttura.

Per la scelta della sovrastruttura stradale di progetto, facendo riferimento al Catalogo delle Pavimentazioni Stradali, si è proceduto dapprima fissando il Traffico Commerciale pari a 1.500.000 di veicoli corrispondenti al 2° 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 assegnato il pacchetto stradale prendendo a riferimento le schede contenute nel Catalogo delle Pavimentazioni Stradali.

Si segnala che non essendo trattata nel Catalogo la categoria *Strada Locale a destinazione particolare* si è fatto riferimento ai pacchetti assegnati per le *Strade Urbane di Quartiere e Locali* (Scheda n. 7F - [N.3]). Si è deciso quindi di adottare una pavimentazione di tipo flessibile, costituita dai seguenti spessori

STRATO	Spessore [cm]	Materiale costituente
Usura	4	Conglomerato bituminoso
Binder	5	Conglomerato bituminoso
Base	8	Conglomerato bituminoso
Fondazione	15	Misto granulare stabilizzato

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE Ottemperanza alle prescrizioni Delibera CIPE 28/01/2015 Canale idraulico di collegamento tra la lama San Marco e la lama Valenzano e strade di ricucitura urbana dei fondi interclusi					
	Relazione tecnica di dimensionamento della sovrastruttura stradale	COMMESSA IA1U	LOTTO 03	CODIFICA e 78 RH	DOCUMENTO NV0300 302	REV. A

5 VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

5.1 GENERALITÀ

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.

5.2 TRAFFICO DI PROGETTO

Come dichiarato al §.4, non avendo a disposizione i dati di traffico nell'area oggetto di intervento, si è deciso di adottare il numero di veicoli commerciali definiti dalla scheda del catalogo per la sovrastruttura scelta. Pertanto, assunto un traffico commerciale previsto pari a 1.500.000 di veicoli 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	Locale Extraurbano	F	
Vita Utile della Pavimentazione	N	20	[anni]
Traffico Giornaliero Medio	TGM	4.597	[veic./gg]
Percentuale traffico nel senso di marcia	p_{sm}	70	[%]
Percentuale veicoli commerciali	p_c	5,0	[%]
Percentuale veicoli commerciali sulla corsia	p_{corsia}	1,0	
Tasso incremento annuo traffico commerciale	R	2,5	[%]
	Traffico annuo n_{vca}	58.721	

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

Traffico commerciale previsto **T^N** **1.500.000**

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.

5.3 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 rigidezza 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%.

5.4 CARATTERISTICHE STRUTTURALI: CALCOLO DELLO “STRUCTURAL NUMBER”

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

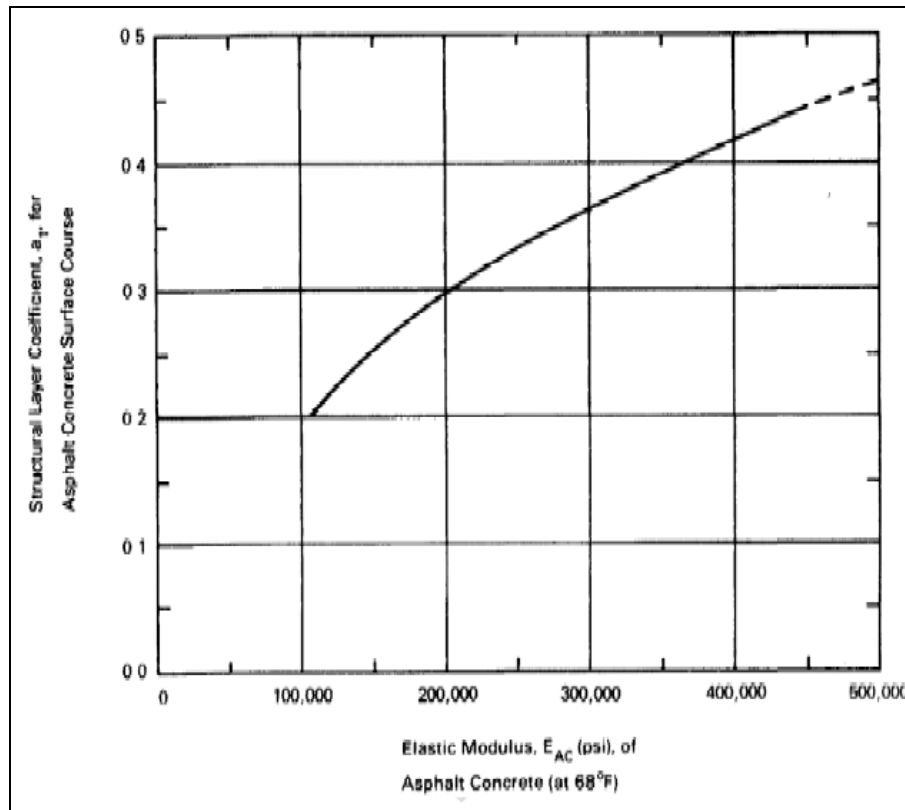
Per il coefficiente dello strato di usura l'AASHTO prevede come dato di input il Modulo Resiliente a 68°F (20°C). il modulo resiliente verrà calcolato tramite la formulazione del modulo complesso:

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

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	
α	
9,50E+00	
E [Pa]	
3,13E+09	
E [PSI]	
454.491	



$$E^* = 455 \text{ [PSI]}$$

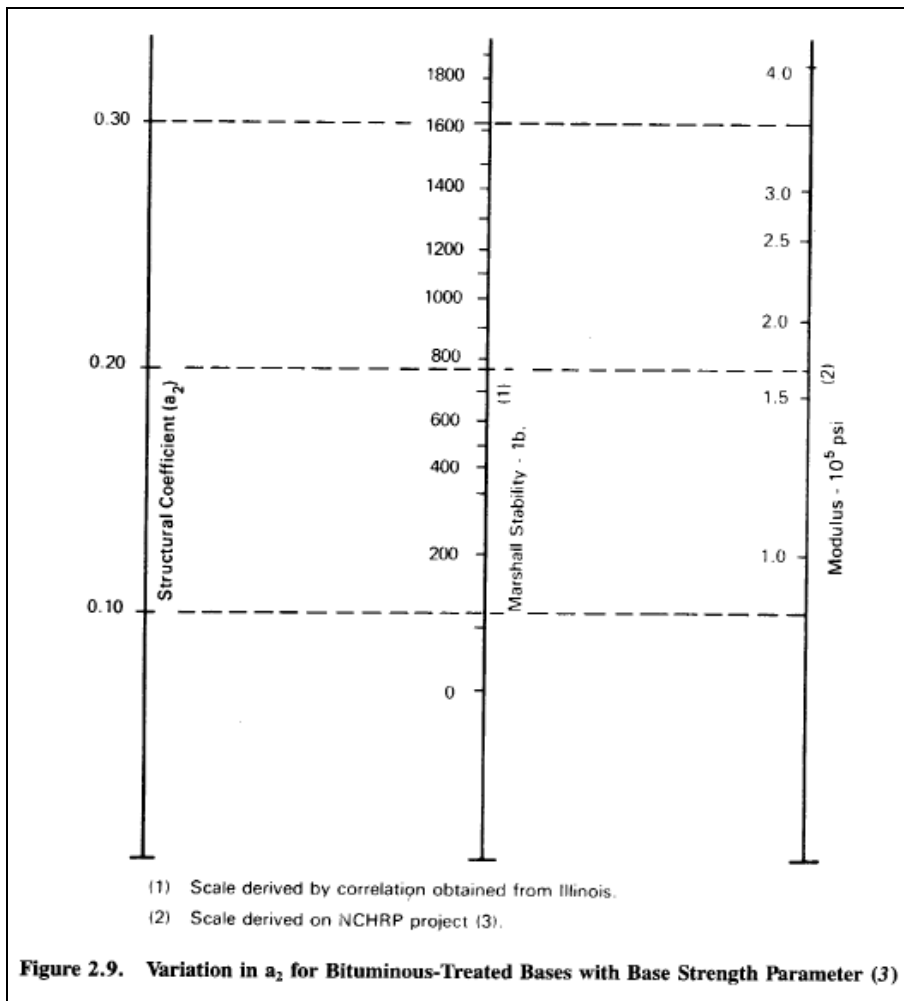
$$a_1 = 0.45$$

Tale valore viene poi ridotto del 10% nei calcoli, risultando pari a 0.41.

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 ₇₅ [kg]	S ₅₀ [kg]	S ₅₀ (lb)
Usura	1.100	917	2.017
Collegam.	1.000	833	1.833
Base	800	667	1.467

S _{M50} =1467 [lb]	a ₃ =0.28
-----------------------------	----------------------

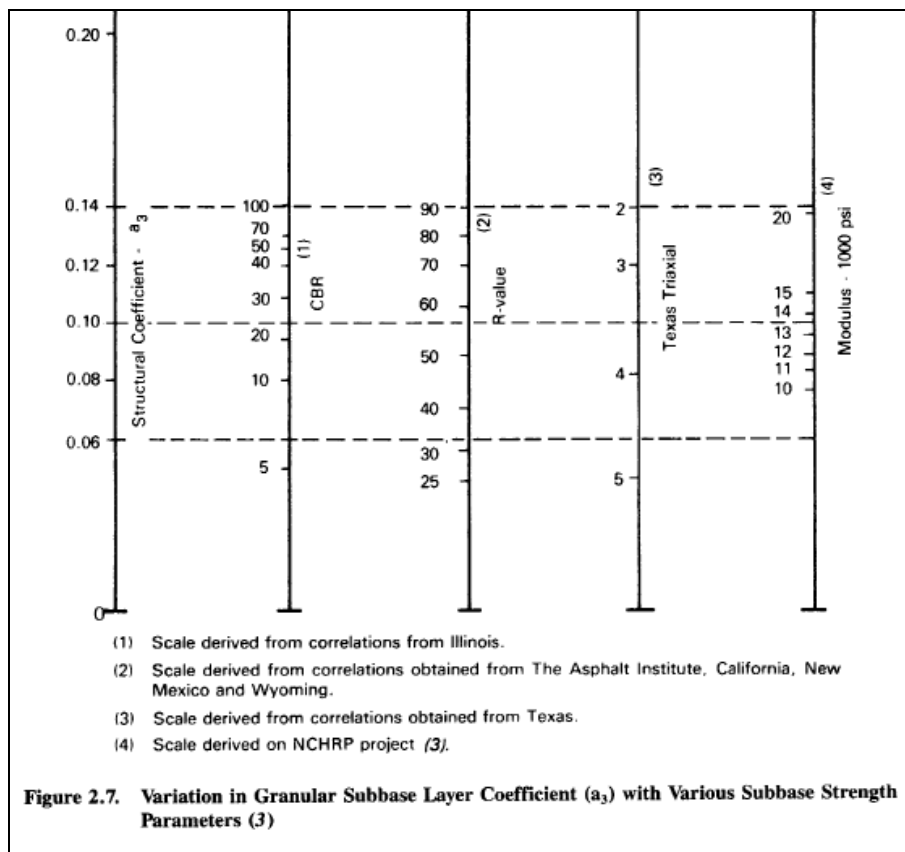


Poiché lo strato di collegamento non è previsto nella configurazione standard impiegata nell'esperimento AASHTO Guide il coefficiente a_2 verrà calcolato interpolando linearmente i coefficienti dell'usura e della base.

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

$$a_2 = 0.39$$

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



$$a_4 = 0.11$$

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** **7,28** [cm]

	z_i [cm]	a_i		m_i	
Usura	4	0,41	a ₁		
Collegam.	5	0,39	a ₂		
Base	8	0,28	a ₃	1	m ₁
Fondazione MG	15	0,11	a ₄	0,9	m ₂

Step 2 – Calcolo dello Structural Number SN

5.5 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 W₁₈ (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.3].

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 ↓80	
10) " " "	"	↓60	↓90 ↓90	↓100 ↓100	
11) " " "	"	↓40	↓100	↓80	↓80 ↓80
12) " " "	"	↓60	↓110	↓90	↓90 ↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120	↓130	↓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 2 – Tipologia di traffico secondo le Norme CNR

Le categorie di strada indicate nella tabella 2 non sono direttamente assimilabili a quelle di cui al D.M. 05.11.2001 per cui possiamo ritenere che, nel presente caso, la categoria di tabella 2 più vicina al caso reale possa essere la n.7: "strade urbane di quartiere e locali".

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 7,28 [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_{SNi} 0,2209477

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

$N_{8,2}$ 331.422

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

Qui di seguito si riassumono i calcoli svolti:



RIASSETTO NODO DI BARI
 TRATTA A SUD DI BARI
VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE
 Ottemperanza alle prescrizioni Delibera CIPE 28/01/2015
 Canale idraulico di collegamento tra la lama San Marco e la lama Valenzano e strade di ricucitura urbana dei fondi interclusi

Relazione tecnica di dimensionamento della sovrastruttura stradale

COMMESSA **IA1U** LOTTO 03 CODIFICA e 78 RH DOCUMENTO NV0300 302 REV. A FOGLIO 19 di 22

Tipologia di veicoli

- 1 Autocarri leggeri
- 2 Autocarri leggeri
- 3 Autocarri medi e pesanti
- 4 Autocarri medi e pesanti
- 5 Autocarri pesanti
- 6 Autocarri pesanti
- 7 Autotreni ed autoarticolati
- 8 Autotreni ed autoarticolati
- 9 Autotreni ed autoarticolati
- 10 Autotreni ed autoarticolati
- 11 Autotreni ed autoarticolati
- 12 Autotreni ed autoarticolati
- 13 mezzi d'opera
- 14 autobus
- 15 autobus
- 16 autobus

Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Ttridem [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		1															
2	1		1														
3				1			1										
4					1				1								
5				1								1					
6						1								1			
7				1			2	1									
8						1			3								
9				1								2					
10						1							1	1			
11				1					1							1	
12						1				1							1
13						1					1						1
14				1			1										
15						1			1								
16						1		1									

T^N 1.500.000

F [%]	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Ttridem [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	
0,8000	0,800	0,000	0,800	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
0,0000	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
0,0000	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
0,2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,200	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
Σ	0,8000	0,0000	0,8000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

	Assi singoli [kN]												Assi Tandem [kN]			Assi Ttridem [kN]		
	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	160	180	200	240	270	390
B	0,40327	0,40853	0,41786	0,45407	0,52317	0,63724	0,80901	1,37924	1,80567	2,34564	3,01411	3,82637	1,37924	1,80567	2,34564	1,37924	1,80567	4,79801
B _{8,2}	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924	1,37924
A	3,32076	2,70881	2,24375	1,56867	1,09687	0,74344	0,45960	0,00000	-0,19842	-0,38217	-0,55338	-0,71349	-0,13847	-0,33689	-0,52064	-0,21948	-0,41789	-1,08312
C _{SNI}	0,00048	0,00196	0,00570	0,02700	0,08001	0,18053	0,34706	1,00000	1,57913	2,41084	3,57586	5,17004	1,37554	2,17216	3,31621	1,65758	2,61754	12,10944
n°C _{SNI}	0,000382	0,000000	0,004564	0,000000	0,016002	0,000000	0,000000	0,200000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
G	-0,200914843																	

5.6 CALCOLO DEL TRAFFICO SOPPORTABILE (W₁₈)

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

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

in cui:

- W_{18} è il numero di passaggi di assi singoli equivalenti da 18 k_{pounds} (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_i (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	2,87	[poll]
Modulo resiliente del sottofondo	M_r (psi)	13050	[psi]
$\log W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log \frac{(PSI_{in} - PSI_{fin})}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + (2.32 \cdot \log M_r) - 8.07$			
	$\log W_{18}$	6,25105	
	$W_{8,2}$	1.782.574	
PAVIMENTAZIONE VERIFICATA			

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

5.7 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 $W_{8,2t} = 1.782.574$
- n. di passaggi previsti $N_{8,2t} = 331.422$

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

6 CONCLUSIONI

Il progetto della sovrastruttura stradale è stato condotto secondo quanto indicato dal *Catalogo delle Pavimentazioni Stradali* redatto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche[N.3]: dapprima fissando il Traffico Commerciale pari a 1.500.000 di veicoli corrispondenti al 2° livello e successivamente calcolando il Traffico Giornaliero Medio (TGM). 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 assegnato il pacchetto stradale prendendo a riferimento le schede contenute nel *Catalogo delle Pavimentazioni Stradali* [N.3]. Si segnala che non essendo trattata nel *Catalogo* la categoria in oggetto (strada Locale a destinazione particolare) si è fatto riferimento ai pacchetti assegnati per le *Strade Secondarie Extraurbane - Turistiche* (Scheda n. 7F).

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 [D.1]*); 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".