

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

IF – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica – Viabilità da NV09 a NV24

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 78 RH NV0000 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G. Ficorella 	Dic. 2019	A. Pagano 	Dic. 2019	F. Spadacino 	Dic. 2019	D. Tiberti Dic. 2019 ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane Direzione Generale UO Infrastrutture Sud Piazz. Imp. Ferroviaria Pordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

File: RS3E50D78RHN0000002A.doc

n. Elab.: 442

INDICE

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	9
3.2	MIX DESIGN	9
4	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE.....	10
4.1	PAVIMENTAZIONE TIPO 1 (CATEGORIA F)	10
4.1.1	Traffico di progetto	10
4.1.2	Descrizione della verifica attraverso l'AASHTO	11
4.1.3	Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number"	12
4.1.4	Calcolo del traffico in assi standard equivalenti ($N_{8,2ton}$).....	17
4.1.5	Calcolo del traffico sopportabile (W_{18})	21
4.1.6	Verifica della sovrastruttura	22
4.2	PAVIMENTAZIONE TIPO 2 (CATEGORIA LOCALE A DESTINAZIONE PARTICOLARE).....	23
4.2.1	Traffico di progetto	23
4.2.2	Caratteristiche strutturali: calcolo dello "Structural Number".....	24
4.2.3	Calcolo del traffico in assi standard equivalenti ($N_{8,2ton}$).....	24
4.2.4	Calcolo del traffico sopportabile (W_{18}).....	27
4.2.5	Verifica della sovrastruttura	29
5	CONCLUSIONI	30



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	3 di 30

1 PREMESSA

Nell'ambito del Progetto Definitivo della tratta Dittaino-Catenanuova 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 da NV09 a NV23 previste in progetto.

In particolare, 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).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	4 di 30

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	5 di 30

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.

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 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 le tipologie di strade in progetto e richiamate in Tabella 2, per la scelta della sovrastruttura stradale di progetto, si è proceduto dapprima fissando il Traffico Commerciale, secondo quanto indicato dal Catalogo delle Pavimentazioni Stradali, rispettivamente a:

- 1.500.000 di veicoli corrispondenti al 2° livello per le viabilità di categoria F
- 400.000 di veicoli corrispondenti al 3° livello per le viabilità locali a destinazione particolare

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; in particolare sono state adottate le seguenti **tre tipologie** di pavimentazioni la cui attribuzione alle singole viabilità è riportata nella successiva **tabella 1**.

TIPOLOGIA 1

La pavimentazione utilizzata presenta spessore pari a 35 cm con l'esclusione del pacchetto di supercompattato di 30 cm. Partendo dal basso la sovrastruttura è costituita da:

- Supercompattato sp. 30 cm
- Fondazione (miscela di inerti stabilizzati per granulometria e compattati) sp. 20 cm
- strato di base in misto bitumato (conglomerato bituminoso aperto) sp. 8 cm
- strato di collegamento in conglomerato bituminoso semiaperto (binder) sp. 4 cm
- manto di usura (conglomerato bituminoso chiuso) sp. 3 cm

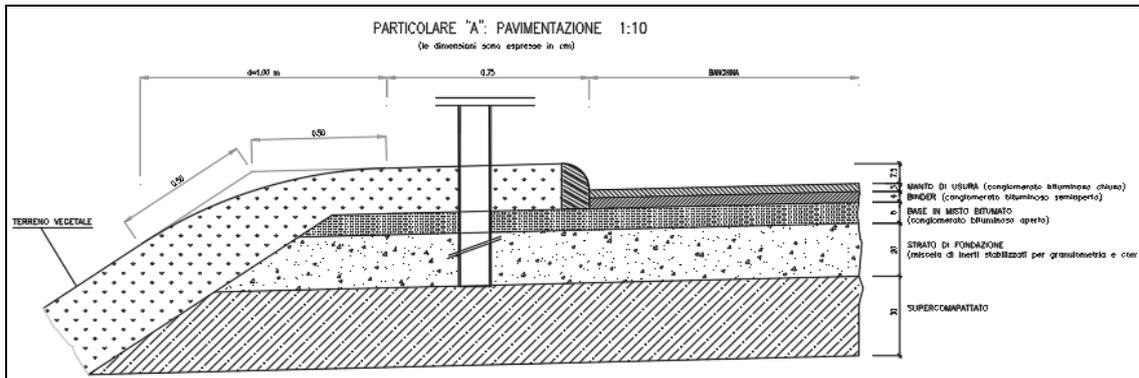


Figura 1 – Particolare pavimentazione – Tipologia 1

TIPOLOGIA 2

La pavimentazione utilizzata presenta spessore pari a 30 cm, con l'esclusione del pacchetto di supercompattato di 15 cm. Partendo dal basso la sovrastruttura è costituita da:

- Supercompattato sp. 15 cm
- Fondazione (miscela di inerti stabilizzati per granulometria e compattati) sp. 20 cm
- strato di base in misto bitumato (conglomerato bituminoso aperto) sp. 7 cm
- manto di usura (conglomerato bituminoso chiuso) sp. 3 cm

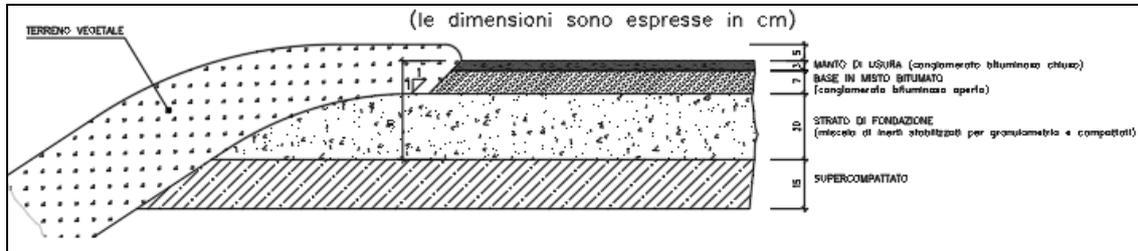


Figura 2 – Particolare pavimentazione – Tipologia 2

TIPOLOGIA 3 (“STRADE BIANCHE”)

La pavimentazione è costituita da uno strato di sottofondo stabilizzato (miscela di inerti stabilizzati per granulometria e compattati) di 25 cm. Essa è stata utilizzata per il ripristino di strade poderali e non è oggetto di verifiche.

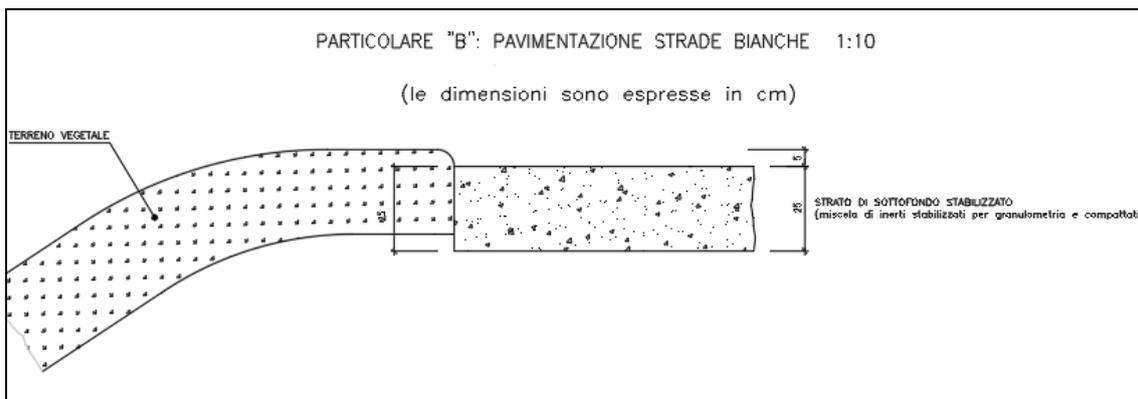


Figura 3 – Particolare pavimentazione – Tipologia 3 “strade bianche”

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
 Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	8 di 30

WBS		INQUADRAMENTO FUNZIONALE	SEZIONE TIPO PIATTAFORMA	TIPO INTERVENTO	Tipo Pavimentazione
Codice	Descrizione				
NV09	Viabilità accesso a fabbricato tecnologico PM Palomba - collegamento con S.S. 192	Strada locale a destinazione particolare - viabilità di accesso piazzale	$(0,50 + 3,00 + 0,50) = 4,00$ m	Strada di nuova costruzione	3
NV10	Ripristino viabilità podereale	Strada locale a destinazione particolare - strada bianca	4,00 m	Adeguamento strada esistente	2
NV11	Ripristino viabilità podereale	Strada locale a destinazione particolare - strada bianca	4,00 m	Adeguamento strada esistente	3
NV12	Ripristino viabilità podereale	Strada locale a destinazione particolare	$(0,50 + 3,00 + 0,50) = 4,00$ m	Adeguamento strada esistente	2
NV12B	Soppressione PL al km 188+610 della LS	Strada locale a destinazione particolare	$(0,50 + 5,00 + 0,50) = 6,00$ m	Adeguamento strada esistente	2
NV13	Accesso area interclusa	Strada locale a destinazione particolare	$(0,50 + 3,00 + 0,50) = 4,00$ m	Adeguamento strada esistente	2
NV14	Viabilità podereale	Strada locale a destinazione particolare	$(0,50 + 3,00 + 0,50) = 4,00$ m	Adeguamento strada esistente	2
NV14B	Viabilità podereale	Strada locale a destinazione particolare	$(0,50 + 3,00 + 0,50) = 4,00$ m	Adeguamento strada esistente	2
NV15	Viabilità podereale	Strada locale a destinazione particolare	$(0,50 + 3,00 + 0,50) = 4,00$ m	Adeguamento strada esistente	2
NV16	Viabilità podereale	Strada locale a destinazione particolare - strada bianca	4,00 m	Adeguamento strada esistente	3
NV17	Ripristino prolungamento sede futura viabilità comunale (Via Palermo)	Strada Locale in Ambito Extraurbano (Cat. F Extr.)	Sezione tipo F2 $(1,00 + 3,25 + 3,25 + 1,00) = 8,50$ m	Adeguamento strada esistente	1
NV18	Ripristino collegamento viabilità podereale con strada comunale (Via Palermo)	Strada locale a destinazione particolare	$(0,50 + 2,75 + 2,75 + 0,50) = 6,50$ m	Adeguamento strada esistente	2
NV19	Viabilità nuova stazione di Catenanuova - Viabilità di collegamento tra Via Palermo ed incrocio con via Dei Caduti in Guerra e viabilità al km 13+000 (tra via dei Caduti in Guerra e SP23)	Strada Locale in Ambito Urbano (Cat. F Urb.)	$(0,50 + 3,50 + 3,50 + 0,50) = 8,00$ m + marciapiedi ambo i lati da 1,50 m	Strada di nuova costruzione	1
NV20	Ripristino rampe e cavalferrovia Via dei Caduti in Guerra	Strada Locale in Ambito Urbano (Cat. F Urb.)	$(0,50 + 2,75 + 2,75 + 0,50) = 6,50$ m + marciapiedi ambo i lati da 1,50 m	Adeguamento strada esistente	1
NV21	Adeguamento tratto SP 74 interferente con il progetto	Strada Locale in Ambito Extraurbano (Cat. F Extr.)	Sezione tipo F2 $(1,00 + 3,25 + 3,25 + 1,00) = 8,50$ m	Adeguamento strada esistente	1
NV22	Viabilità accesso a SSE di Sparagogna	Strada locale a destinazione particolare - viabilità di accesso piazzale	$(0,50 + 2,50 + 2,50 + 0,50) = 6,00$ m	Strada di nuova costruzione	2
NV23	Viabilità Tangenziale Catenanuova	Strada Locale in Ambito Urbano (Cat. F Urb.)	$(0,50 + 3,50 + 3,50 + 0,50) = 8,00$ m	Strada di nuova costruzione	1

Tabella 2 – Viabilità e tipologia pavimentazioni



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	9 di 30

3.1 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:

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

dove:

CBR (% *California 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 ≥ 50 MPa come da Capitolato. A favore di sicurezza nei calcoli si assumerà un valore di $M_d=45$ 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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica – Viabilità da NV09 a NV24	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RG	DOCUMENTO IF 00 00 002	REV. A	FOGLIO 10 di 30

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).

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 f)

4.1.1 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 1.500.000 di veicoli (corrispondente al 2° 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	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.

4.1.2 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 si, della “resistenza” dei materiali impiegati rappresentata attraverso i “coefficienti strutturali di strato” ai e della loro sensibilità all'acqua rappresentata attraverso i “coefficienti di drenaggio” mi.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica – Viabilità da NV09 a NV24	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RG	DOCUMENTO IF 00 00 002	REV. A

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%.

4.1.3 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:

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

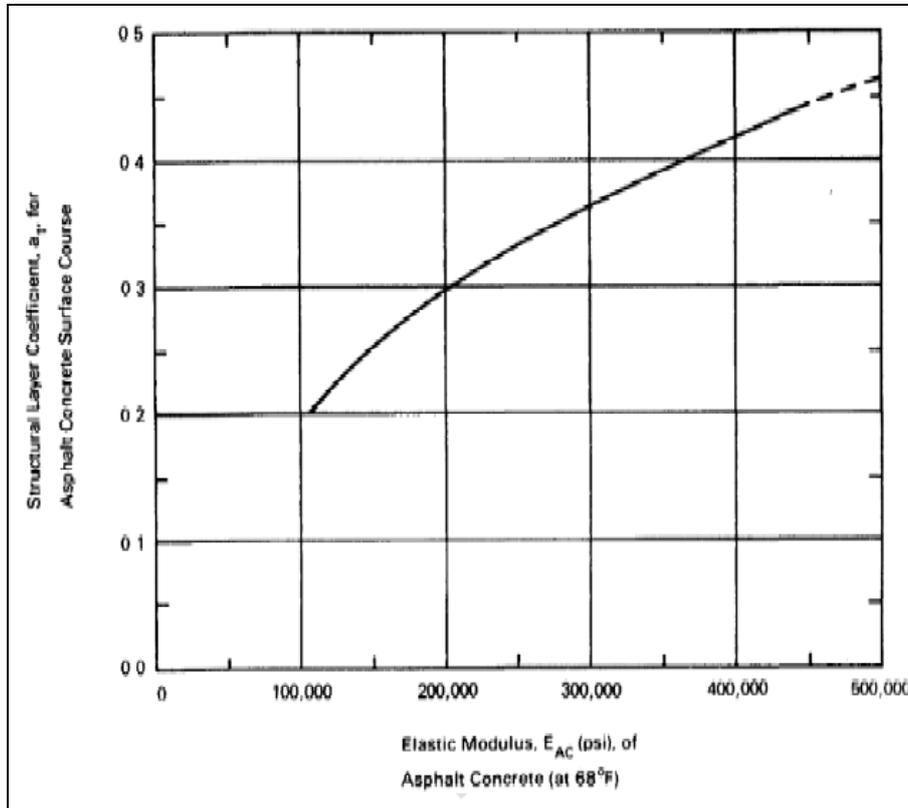
Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	13 di 30

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	



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

$$a_1 = 0.45$$

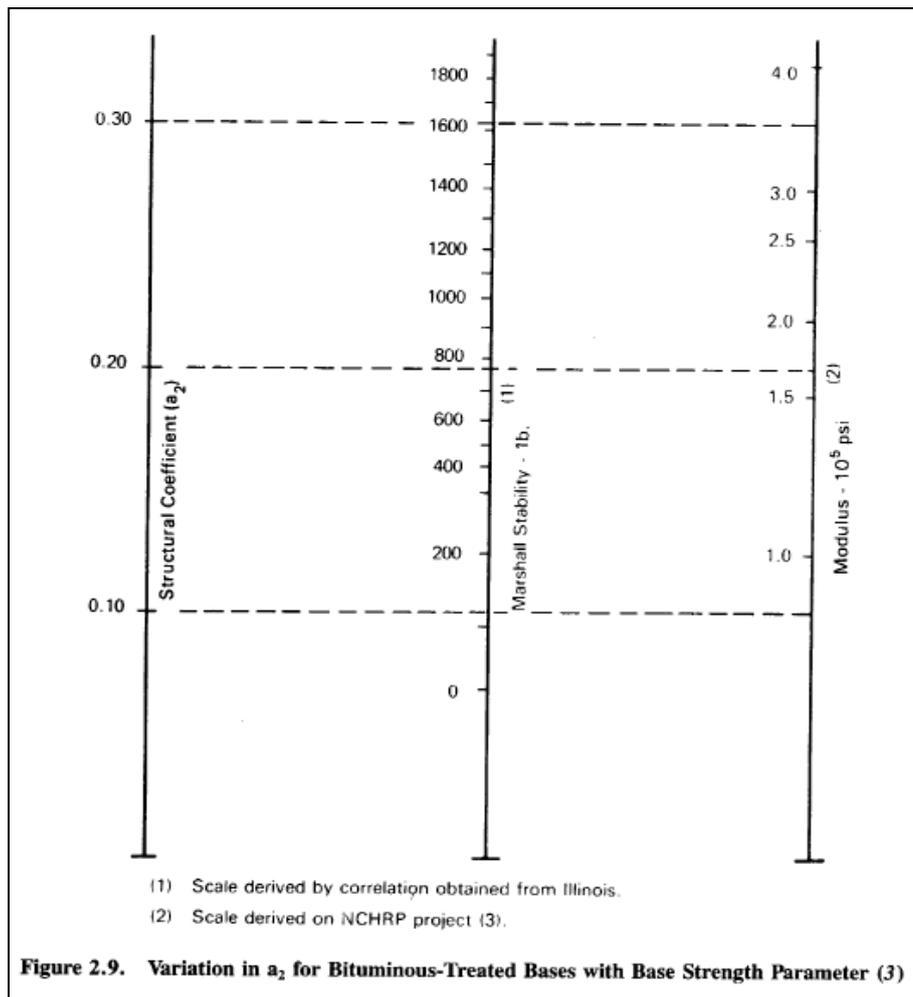
Tale valore viene poi ridotto del 10% nei calcoli, risultando pari a 0.35.

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]

$a_3=0.28$

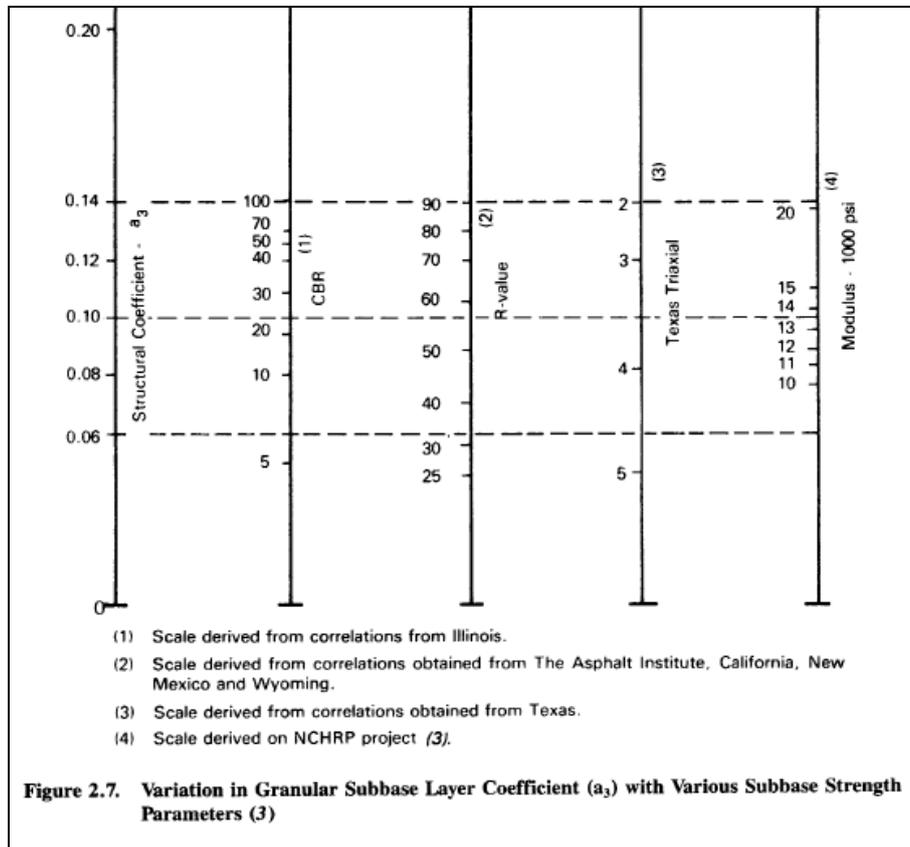


Poiché lo strato di collegamento non è previsto nella configurazione standard impiegata nell'esperimento AASHTO Guide il coefficiente a_2 verrà calcolato interpolando linearmente i coefficienti dell'usura e della base.

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

$$a_2 = 0.33$$

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** **6,59** [cm]

	z_i [cm]	a_i		m_i	
Usura	3	0,35	a ₁		
Collegam.	4	0,33	a ₂		
Base	8	0,28	a ₃	1	m ₁
Fondazione MG	20	0,11	a ₄	0,9	m ₂

Step 2 – Calcolo dello Structural Number SN

4.1.4 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.

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	55	----	----

Tabella 3 – Tipologia di traffico secondo le Norme CNR

Nel presente caso si associa alla viabilità oggetto di verifica lo spettro di traffico corrispondente al n.7: “*strade di quartiere e locali*”, richiamato in Tabella 3.

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	6,59	[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_{SNi} **0,2212059**

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

$N_{8,2}$ **331.809**

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

A seguire si riassumono i calcoli svolti:

4.1.5 Calcolo del traffico sopportabile (W_{18})

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

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

in cui:

- W_{18} è il numero di passaggi di assi singoli equivalenti da 18 kponds (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_r 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	2,59	[poll]
Modulo resiliente del sottofondo	$Mr (psi)$	13050	[psi]

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

$log W_{18}$	5,99072
$W_{8,2}$	978.858

PAVIMENTAZIONE VERIFICATA

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

4.1.6 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 $W_{8,2t} = 978.858$
- n. di passaggi previsti $N_{8,2t} = 331.809$

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

4.2 Pavimentazione tipo 2 (categoria locale a destinazione particolare)

4.2.1 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 400.000 di veicoli (corrispondente al 1° 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 $p_c = 3\%$
- 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>Locale Extraurbano</i>	F	
Vita Utile della Pavimentazione	<i>N</i>	20	[anni]
Traffico Giornaliero Medio	<i>TGM</i>	1.430	[veic./gg]
Percentuale traffico nel senso di marcia	<i>p_{sm}</i>	100	[%]
Percentuale veicoli commerciali	<i>p_c</i>	3,0	[%]
Percentuale veicoli commerciali sulla corsia	<i>p_{corsia}</i>	1,0	
Tasso incremento annuo traffico commerciale	<i>R</i>	2,5	[%]
	<i>Traffico annuo</i>	<i>n_{vca}</i>	15.659
$T^N = n_{vca} \cdot \left[\frac{(1 + R)^N - 1}{R} \right]$			
	<i>Traffico commerciale previsto</i>	T^N	400.000

Step 5 – 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.

4.2.2 Caratteristiche strutturali: calcolo dello “Structural Number”

Sulla base di quanto discusso nel §4.1.3, si riporta qui di seguito il calcolo dello Structural Number.

CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER "SN"					
$SN = \sum_i a_i \cdot m_i \cdot S_i$					
Structural Number SN 4,99 [cm]					
	z_i [cm]	a_i		m_i	
Usura	3	0,35	a_1		
Collegam.	0	0,33	a_2		
Base	7	0,28	a_3	1	m_1
Fondazione MG	20	0,11	a_4	0,9	m_2

Step 6 – Calcolo dello Structural Number SN

4.2.3 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.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	25 di 30

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

Nel presente caso si associa alla viabilità oggetto di verifica lo spettro di traffico corrispondente al n.7: “*strade di quartiere e locali*”, richiamato in Tabella 3.

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

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

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

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

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

Structural Number	SN	4,99	[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} 0,2194891

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

N_{8,2} 87.796

Step 7 – Calcolo del numero di passaggi di assi standard equivalenti

A seguire si riassumono i calcoli svolti:

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

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	1,96	[poll]
Modulo resiliente del sottofondo	$M_r (psi)$	13050	[psi]

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

$\log W_{18}$	5,27045
$W_{8,2}$	186.400

PAVIMENTAZIONE VERIFICATA

Step 8 – Calcolo del numero massimo di assi standard sopportabili dalla pavimentazione

4.2.5 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 $W_{8,2t} = 87.796$
- n. di passaggi previsti $N_{8,2t} = 331.809$

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

Pavimentazioni stradali – Relazione tecnica –
Viabilità da NV09 a NV24

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RG	IF 00 00 002	A	30 di 30

5 CONCLUSIONI

Il progetto della sovrastruttura stradale è stato condotto dapprima fissando il Traffico Commerciale (pari a 1.500.000 di veicoli corrispondenti al 2° livello per la categoria F e 400.000 veicoli corrispondenti al 1° livello per le strade locali a destinazione particolare) 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”.