

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01**

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA

LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

VIABILITA' – NV

Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C

SCALA:

-

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

L I 0 2 0 2 D 7 8 R H N V 0 0 0 0 0 0 2 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	R. Velotta	Novembre 2018	G. Maurino	Novembre 2018	B.M. Bianchi	Novembre 2018	D. Tiberti Maggio 2019
B	EMISSIONE ESECUTIVA	R. Velotta	Maggio 2019	G. Maurino	Maggio 2019	B.M. Bianchi	Maggio 2019	D. Tiberti Maggio 2019

File: LI0202D78RHN0000002B.doc

n. Elab.:

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Tecnica
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Dante Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10076

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	SCOPO DEL DOCUMENTO.....	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	CONFIGURAZIONE DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE E CARATTERISTICHE DEL SOTTOFONDO	7
4.1	SOVRASTRUTTURA STRADALE.....	7
4.1.1	<i>Mix design</i>	7
4.2	SOTTOFONDO	7
4.2.1	<i>Portanza del sottofondo</i>	8
5	SCELTA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE DI PROGETTO	9
6	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE.....	11
6.1	GENERALITÀ	11
6.2	TRAFFICO DI PROGETTO.....	11
6.3	DESCRIZIONE DELLA VERIFICA ATTRAVERSO L’AASHTO	12
6.4	CARATTERISTICHE STRUTTURALI: CALCOLO DELLO “STRUCTURAL NUMBER”	13
6.5	CALCOLO DEL TRAFFICO IN ASSI STANDARD EQUIVALENTI ($N_{8,2TON}$).....	14
6.6	CALCOLO DEL TRAFFICO SOPPORTABILE (W_{18}).....	18
6.7	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA	19
7	CONCLUSIONI.....	20

1 PREMESSA

Nell'ambito del Progetto Definitivo di raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina – Lotti 2 e 3 (raddoppio Termoli-Ripalta) della Linea Pescara-Bari, per gli interventi riferiti alle viabilità di progetto sono previste le seguenti configurazioni di sovrastruttura stradale.

Tipo pavimentazione	Viabilità	Categoria
Tipo 1 (5+6+18+15 = 44 cm)	NV18	Strada Extraurbana Secondaria (Cat. C)
Tipo 2 (4+5+12+15 = 36 cm)	NV03	Strada Locale in Ambito Extraurbano (Cat. F)
	NV07A	
	NV07B	
	NV11	
	NV12	
	NV13	
	NV16	
	NV04A-Tratto 1	
	NV04A-Tratto 2	
	NV04B-Rotatoria Ovest	
	NV04C-Rotatoria Campomarino	
NV04D-Rotatoria Est		
Tipo 3 (4+5+8+15 = 32 cm)	NV08A	Strada locale a destinazione particolare
	NV08B	
	NV08C	
	NV19A	
	NV19B	
	NV20A	
	NV20B	
	NV09	
	NV21	
	NV14A	
	NV14B	
	NV14C	
	NV15	
	NV17	
Tipo 4 (3+4+8+20 = 35 cm) come da Manuale RFI	NV02A	Viabilità di accesso piazzali / aree di sicurezza
	NV02B	
	NV22	
	NV05	
Tipo 5 (50 cm misto gran. stab.)	NV10	Strada bianca
	NV19B	
	NV06	

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

La presente relazione di calcolo riporta la verifica della sovrastruttura stradale “Tipo 1” prevista per le viabilità inquadrata funzionalmente come Strade Extraurbane Secondarie (Cat. C).

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: 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).

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è la verifica della sovrastruttura stradale “Tipo 1”, prevista per le viabilità inquadrare funzionalmente come Strade Extraurbane Secondarie (Cat. C), nell’ambito del Progetto Definitivo di raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina – Lotti 2 e 3 (raddoppio Termoli-Ripalta) della Linea Pescara-Bari.

Nel seguito, dopo aver riportato le normative di riferimento adottate, si riporta:

- La configurazione della sovrastruttura stradale e le caratteristiche del sottofondo;
- La scelta della sovrastruttura stradale di progetto;
- La verifica della sovrastruttura stradale.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA L102	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- D. L.vo 30/04/1992 n. 285: “*Nuovo codice della strada*”;
- D.M. 05/11/2001: “*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*”;
- D.M. 14-01-18 (NTC-2018): “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”;
- CNR - Bollettino Ufficiale - Norme Tecniche - Anno XXIX – N.178: “*Catalogo delle pavimentazioni stradali*”.

Sono state considerate, inoltre, le indicazioni e prescrizioni riportate nei seguenti documenti:

- AASHTO: “*Guide for Design of Pavement Structures*”;
- “*Portanza dei sottofondi*”: Fondazione politecnica per il mezzogiorno d’Italia – P. Giannattasio, C. Caliendo, L. Esposito, B. Festa, W. Pellicchia – Napoli , Dicembre 1989

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

4 CONFIGURAZIONE DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE E CARATTERISTICHE DEL SOTTOFONDO

4.1 Sovrastruttura stradale

La configurazione della sovrastruttura stradale “Tipo 1”, oggetto della presente relazione (prevista per le viabilità inquadrate funzionalmente come Strade Extraurbane Secondarie (Cat. C)) è composta dai seguenti strati.

Pavimentazione stradale Configurazione Tipo 1 (Strade Extraurbane Secondarie – Cat. C)

Strato	Materiale	Spessore [cm]
Usura	conglomerato bituminoso	5
Collegamento (binder)	conglomerato bituminoso	6
Base	conglomerato bituminoso	18
Fondazione	misto granulare stabilizzato	15

44

Tale configurazione è prevista sia lungo i tratti in rilevato che lungo i tratti in trincea.

4.1.1 Mix design

Per gli elementi caratteristici del mix design (miscela inerti, caratteristiche inerti, caratteristiche bitume), si rimanda alla tabella materiali riportata nell’ambito degli elaborati di “Sezioni Tipo”.

4.2 Sottofondo

In corrispondenza dei tratti con corpo stradale in rilevato, è prevista la realizzazione di uno strato di sottofondazione avente le seguenti caratteristiche:

- per rilevati di altezze minori di 2,00 m è previsto 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 $Md = 50$ MPa;
- per rilevati di altezze maggiori o uguali di 2,00 m di uno strato di sottofondazione in misto cementato di spessore 30cm con modulo di deformazione pari a $Md = 200$ 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.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

4.2.1 Portanza del sottofondo

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

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

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

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 ≥ 50 MPa come da Capitolato. A favore di sicurezza nei calcoli si assumerà un valore di $M_d=45$ MPa. Pertanto si ha che:

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

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

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

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTE 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

5 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 ad 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 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.).

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 4.000.000 di veicoli (valore corrispondente 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 15%) 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. In particolare, si è fatto riferimento ai pacchetti assegnati per le *Strade Extraurbane Principali e Secondarie a forte traffico* (Scheda n. 3F).

Si è deciso quindi di adottare una pavimentazione di tipo flessibile, costituita dai seguenti spessori.

STRATO	Spessore [cm]	Materiale costituente
Usura	5	Conglomerato bituminoso
Binder	6	Conglomerato bituminoso
Base	18 (*)	Conglomerato bituminoso
Fondazione	15	Misto granulare stabilizzato

(*) Si vuole segnalare che lo spessore dello strato di base è stato aumentato di 4cm (rispetto al valore di 12cm riportato nella scheda del catalogo 3F) al fine di verificare la pavimentazione per i carichi da traffico ipotizzati.
Nel seguito si riportano esclusivamente le verifiche della sovrastruttura nella sua configurazione finale.

Tale pavimentazione è in grado di sopportare durante la sua Vita Utile un traffico commerciale pari a 4.000.000 di veicoli (Livello di traffico 3°).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

6 VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

6.1 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).

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.

6.2 Traffico di progetto

Come dichiarato al §.5, 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 $p_c = 7\%$
- 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

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

Vita Utile della Pavimentazione	<i>N</i>	20	[anni]
Traffico Giornaliero Medio	<i>TGM</i>	4.086	[veic./gg]
Percentuale traffico nel senso di marcia	<i>p_{sm}</i>	70	[%]
Percentuale veicoli commerciali	<i>p_c</i>	15,0	[%]
Percentuale veicoli commerciali sulla corsia	<i>p_{corsia}</i>	1,0	
Tasso incremento annuo traffico commerciale	<i>R</i>	2,5	[%]

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.

6.3 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;

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

- 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%.

6.4 Caratteristiche strutturali: calcolo dello “Structural Number”

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** **10,26** [cm]

	z_i [cm]	a_i		m_i	
Usura	5	0,35	a ₁		
Collegam.	6	0,33	a ₂		
Base	18	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

6.5 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.

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 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.5: "strade secondarie extraurbane - turistiche".

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

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

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

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

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

Structural Number
Peso dell'asse i-esimo

SN	10,26	[cm]
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} 1,9325201

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

$N_{8,2}$ 7.730.080

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

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTE 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA L102	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

6.6 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	85	[%]
	Z_R	-1,037	
	S_0	0,45	
Grado efficienza iniziale	PSI_{iniz}	4,2	
Grado efficienza finale	PSI_{fin}	2,5	
Structural Number	SN	4,04	[poll]
Modulo resiliente del sottofondo	$Mr (psi)$	13050	[psi]

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

$logW_{18}$	7,07419
$W_{8,2}$	11.862.921

PAVIMENTAZIONE VERIFICATA

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

6.7 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 $W_{8,2t} = 7.730.080$
- n. di passaggi previsti $N_{8,2t} = 11.862.921$

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	VIABILITA' – NV Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - strade Cat. C	COMMESSA LI02	LOTTO 02D78	CODIFICA RH	DOCUMENTO NV0000002	REV. B

7 CONCLUSIONI

Il progetto della sovrastruttura stradale è stato condotto secondo quanto indicato dal *Catalogo delle Pavimentazioni Stradali* redatto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, dapprima fissando il Traffico Commerciale pari a 4.000.000 di veicoli corrispondenti al 3° 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*. Nello specifico si è fatto riferimento ai pacchetti assegnati per le *Strade Extraurbane Principali e Secondarie a forte traffico* (Scheda n. 3F).

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 $N_{8,2\text{ton}}$.

La prima verifica della pavimentazione effettuata con il pacchetto stradale corrispondente nella scheda e pari a 5cm di Usura, 6cm di Binder, 14cm di Base e 15cm di MS non è risultata essere soddisfatta pertanto, si è deciso di incrementare di 4cm lo spessore dello strato di Base portandolo così a 18cm (lasciando invariati gli altri spessori) e ripetendo le verifiche. Con il nuovo pacchetto assegnato la verifica con il metodo AASHTO è risultata soddisfatta.

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.