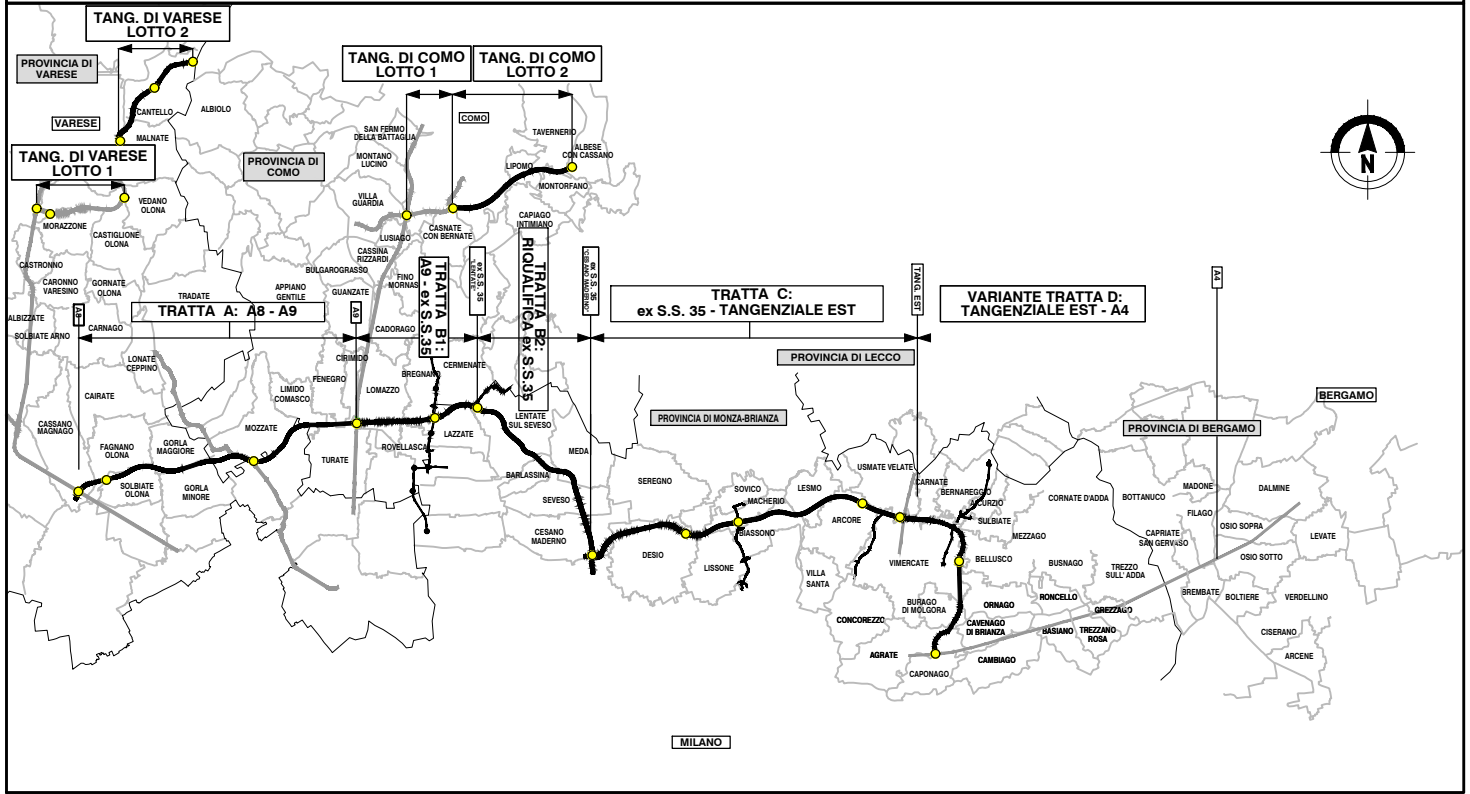


QUADRO DI UNIONE GENERALE



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

PROGETTO DEFINITIVO VARIANTE TRATTA D

PROGETTO STRADALE PARTE GENERALE

RELAZIONE DI VERIFICA E DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE AUTOSTRADALE

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

FASE PROGETTUALE	WBS	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
D	SD	DD	000	0000	000	RS	003	A	

DATA 30 Giugno 2023
SCALA -

CONCEDENTE



PROGETTAZIONE



DATA	REVISIONE
30 Giugno 2023	EMISSIONE

ELABORAZIONE PROGETTUALE	
 Arch. Fabio Massimo Saldini	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Lucia Samorani

Redatto: Ing. Norese Visto: Ing. Norese Contributo specialistico: Ing. iambozzo

CONCESSIONARIO

Direttore Ingegneria e BIM Center: Arch. Fabio Massimo Saldini
 Direttore Tecnico: Ing. Paolo Simonetta
 Responsabile Funzione Tecnica, Project Financing e ACT Ing. Andrea Monguzzi

VERIFICA E VALIDAZIONE

RTI: Conteco Check S.r.l. (Mandante), Rina Check S.r.l. (Mandatario), Bureau Veritas Italia S.p.a. (Mandatario)



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA D

VARIANTE TRATTA D PARTE STRADALE

**RELAZIONE DI VERIFICA E DIMENSIONAMENTO
DELLA PAVIMENTAZIONE AUTOSTRADALE**

INDICE

1. PREMESSA	3
2. SCOPO	6
3. DATI INZIALI	7
4. VERIFICA PACCHETTO AUTOSTRADALE TRATTA B1 ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
5. VERIFICA PACCHETTO AUTOSTRADALE TRATTA B2 ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
6. VERIFICA PACCHETTO AUTOSTRADALE TRATTA C ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
7. VERIFICA PACCHETTO AUTOSTRADALE TRATTA D	8
8. VERIFICA PACCHETTO TANGENZIALE DI COMO ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
9. VERIFICA PACCHETTO TANGENZIALE DI VARESE ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
10. VERIFICA PACCHETTO EXTRAURBANA PRINCIPALE ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
11. VERIFICA PACCHETTO EXTRAURBANA SECONDARIA ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
12. CONCLUSIONI ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
12.1 Ipotesi Pavimentazione alternativa Tratta B1 Errore. Il segnalibro non è definito.	
12.2 Ipotesi Pavimentazione alternativa Tratta D Errore. Il segnalibro non è definito.	
12.3 Ipotesi Pavimentazione alternativa Extraurbana Principale Errore. Il segnalibro non è definito.	
12.4 Ipotesi Pavimentazione alternativa Extraurbana Secondaria Errore. Il segnalibro non è definito.	
APPENDICE A ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
A.1 Premessa	Errore. Il segnalibro non è definito.
A.2 Scopo	Errore. Il segnalibro non è definito.
A.3 Dati iniziali	Errore. Il segnalibro non è definito.
A.4 Ipotesi Pavimentazione alternativa Tratta D	15
A.4.1 Verifica 1 $M_r=100$	15
A.4.2 Verifica 2 $M_r=100$ $amc= 0.20$	17
A.5 Conclusioni.....	19

1. PREMESSA

Il presente documento ha lo scopo di descrivere in maniera dettagliata le attività svolte per la verifica e il dimensionamento dei diversi pacchetti di pavimentazione in riferimento alla viabilità autostradale, nella galleria artificiale e per le viabilità minori all'interno di diverse tratte funzionali:

- Autostrada A36 – L'asse trasversale è a sua volta suddiviso in 5 (cinque) lotti funzionali:
 - Tratta A – in esercizio
 - Tratta B1 – in esercizio
 - Tratta B2
 - Tratta C
 - Tratta D
- Autostrada A60 – Lotto della Tangenziale di Varese – in esercizio
- Autostrada A59 – Lotto della Tangenziale di Como – in esercizio

Il contesto di riferimento nel quale si colloca l'autostrada Pedemontana Lombarda è costituito da un corridoio territoriale che attraversa 5 province (Milano, Monza e Brianza, Bergamo, Como e Varese) e si estende dal Lago Maggiore al lago di Garda comprendendo le aree della provincia di Varese, del Lario Comasco, del Lecchese, delle valli bergamasche e bresciane.

Si riporta di seguito l'inquadramento dell'area di intervento.

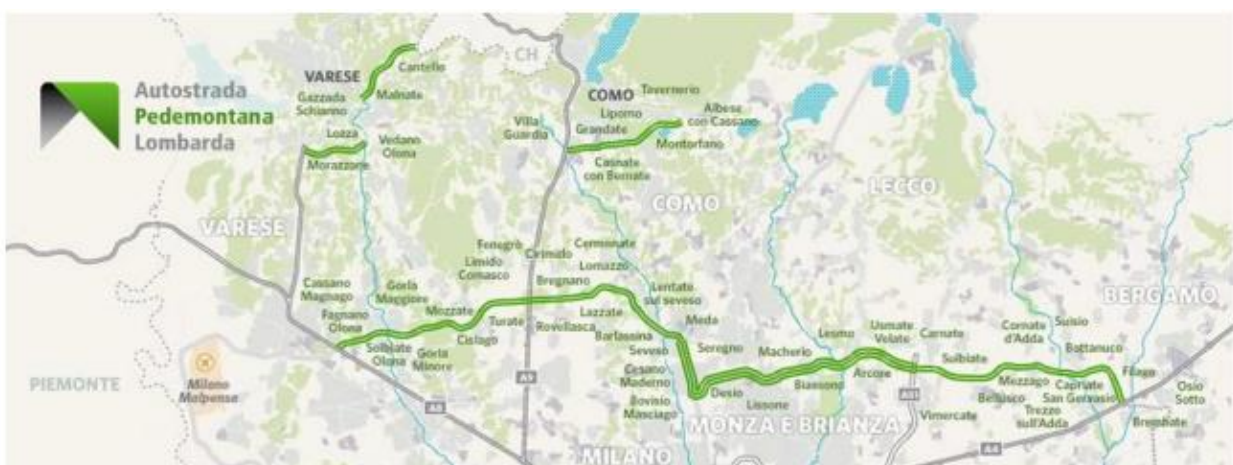


Figura 1 - Inquadramento area di esame

Nello specifico delle diverse tratte delle quali si occupa questo studio, 3 sono in fase di progettazione e una in particolare allo stato attuale della progettazione prevede una duplice alternativa.

La Tratta D prevista per il 1° luglio 2030, ha una progettazione convenzionale definita D lunga che si sviluppa per 18,9 km dall'interconnessione con la Tangenziale Est di Milano (A51) a Vimercate fino all'interconnessione con l'Autostrada A4 a Osio Sotto, e una progettazione alternativa definita Variante alla Tratta D che ha una lunghezza relativa all'asse autostradale pari a 8,9 km.



Figura 2: Il tracciato convenzionale D-Lunga



Figura 3: il tracciato alternativo D

La verifica della pavimentazione è stata eseguita mediante l'utilizzo del "Catalogo delle Pavimentazioni Stradali" redatto dal Consiglio Nazionale delle ricerche. Si è utilizzato questo procedimento poiché il metodo di seguito adottato, che schematizza la sovrastruttura come un multistrato elastico, richiede come input iniziale lo spessore di diversi strati della pavimentazione.

Nel primo step si è proceduto con una prima verifica degli strati dei diversi pacchetti delle sovrastrutture proposte dal committente utilizzando l'algoritmo di calcolo del "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" basato sui risultati dell'esperimento AASHTO.

Il metodo in questione, tramite alcune relazioni che tengono conto delle caratteristiche meccaniche dei materiali della sovrastruttura, permette di calcolare il numero di passaggi di assi standard da 8.2 tonnellate che la pavimentazione riesce a sopportare prima di raggiungere un livello di funzionalità inaccettabile, in relazione all'"affidabilità" richiesta. Una volta ottenuto questo valore, è stato confrontato con il numero di passaggi di assi standard alla fine della "vita utile" calcolati attraverso lo spettro di traffico inserito nel "Catalogo delle Pavimentazioni Stradali".

Nel documento in esame si riportano in ordine la verifica del pacchetto proposto e una successiva ipotesi progettuale per garantire una vita utile maggiore all'opera.

2. SCOPO

Lo scopo della verifica e del progetto è quello di rispondere alla richiesta della committenza in modo da assicurare, attraverso normali operazioni di manutenzione, un livello minimo di funzionalità delle pavimentazioni per un prefissato periodo di tempo. A tal proposito si evidenzia che il rifacimento del tappetino di usura dopo un certo numero di anni è da considerarsi come un intervento manutentivo ordinario e prevedibile al fine di assicurare le necessarie caratteristiche di aderenza nelle pavimentazioni flessibili.

L'obiettivo in esame si ottiene attraverso la definizione di tre elementi determinati ovvero:

- **La vita utile dell'opera:** intesa come il numero di anni durante il quale la pavimentazione deve assicurare, attraverso normali operazioni di manutenzione, condizioni di funzionalità superiori allo stato limite;
- **Lo stato limite,** cioè il livello minimo di funzionalità della sovrastruttura ritenuto accettabile, superato il quale è necessario comunque intervenire, per il metodo empirico il parametro di riferimento è il PSI;
- **L'affidabilità,** cioè la probabilità che la sovrastruttura sia in grado di assicurare, con normali operazioni di manutenzione, condizioni di circolazione superiori allo stato limite per l'intera durata della vita utile;

3. DATI INIZIALI

Come dati iniziali sono stati inseriti i valori di traffico giornaliero medio sull'infrastruttura. È stata utilizzata la relazione trasportistica fornita dalla committente al fine di stimare il traffico totale nella vita utile delle infrastrutture (stimata in 20 anni).

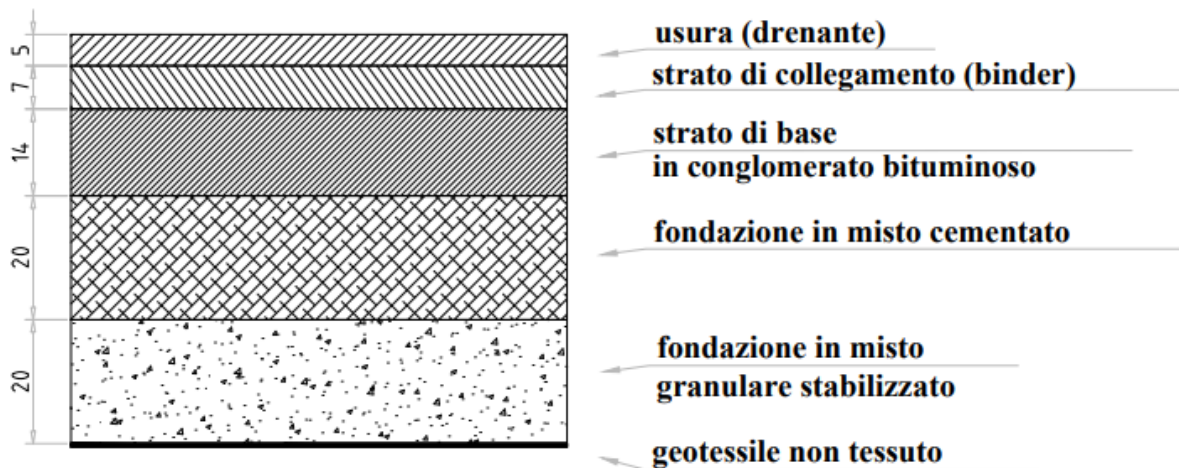
All' interno dello studio trasportistico sono presenti i dati relativi al flusso attuale e in previsione per ogni singola tratta autostradale fino all' annualità 2060, si è scelto quindi di utilizzare tali informazioni per stimare il traffico giornaliero medio durante la vita utile dell'infrastruttura, presa pari a 20 anni.

Tratta	Annualità di riferimento	Veicoli Leggeri (20 anni)	TGM Leggeri	Veicoli Pesanti (20 anni)	TGM Pesanti	Totale veicoli (20 anni)	TGM totale	% Veicoli Pesanti
Asse principale								
B1	(2022-2042)	607446	30372	192138	9607	799583	39979	24%
B2	(2025-2045)	738853	36943	324945	16247	1063798	53190	31%
C	(2025-2045)	569826	28491	235809	11790	805635	40282	29%
D-Lunga	(2030-2050)	452476	22624	190543	9527	643019	32151	30%
Tangenziale								
Tangenzial e Como	(2022-2042)	278586	13929	48749	2437	327336	16367	15%
Tangenzial e Varese	(2022-2042)	210615	10531	58525	2926	269140	13457	22%

Tabella 1 - TGM viabilità autostradale

4. VERIFICA PACCHETTO AUTOSTRADALE TRATTA D

Una volta ricevute le informazioni di dettaglio dalla committenza sulla diversa conformazione delle pavimentazioni stradali, si è provveduto alla verifica degli strati proposti. Si riporta di seguito il pacchetto ricevuto.



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI		
	E [MPa]	ν
usura drenante	4600	0.35
binder	4600	0.35
base in c.b.	4600	0.35
base in misto cementato	1200	0.25
fondazione in misto stabilizzato granulometrico	800	0.40
sottofondo	80-100	0.40

Figura 4 - Ipotesi pacchetto autostradale B1 e D

Come primo passo della verifica del pacchetto proposto, è stato definito il numero di passaggi di veicoli pesanti e più nello specifico i passaggi dei veicoli equivalenti pari a 8.2 tonnellate.

In riferimento alla “Tabella 1 – TGM viabilità autostradale” è stato preso in considerazione il TGM dei veicoli totali per poter avere il dato di traffico utile per ottenere i veicoli commerciali giornalieri e quelli annuali. La formulazione tiene in conto di diversi fattori moltiplicativi che riducono il numero di passaggi effettivi.

Per i veicoli commerciali giornalieri si è utilizzata la seguente formulazione

$$V_{cg} = TGM * P_d * P * p_l * d_l$$

Dove:

TGM: traffico giornalieri medio tratta (Totale Veicoli in tabella)

Pd: distribuzione del traffico per senso di marcia

P: percentuale dei veicoli pesanti

Pl: percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia più lenta

dl: dispersione delle traiettorie

che per il tratto di riferimento risultano essere:

<i>Per il tratto di riferimento:</i>	
<i>pd [%]</i>	<i>50%</i>
<i>pd [%]</i>	<i>30%</i>
<i>pl [%]</i>	<i>95%</i>
<i>dl [%]</i>	<i>80%</i>

Ottenendo così:

<i>Vcg (20 anni)</i>	<i>72406</i>
----------------------	--------------

Da questo si è ottenuto il valore dei veicoli commerciali annuali moltiplicandolo per 365 giorni come di seguito riportato:

$$V_{cg} = 365 * TGM * P_d * P * p_l * d_l$$

Ottenendo così:

<i>Vcg annuali (20 anni)</i>	<i>26428260</i>
------------------------------	-----------------

Una volta definiti i veicoli commerciali che transiteranno nella tratta di interesse nel corso della sua vita utile (20 anni) si è determinata la composizione del traffico previsto su ciascun tipo di strada; quindi, sono stati assunti degli spettri tipici di veicoli commerciali (massa complessiva ≥ 3 t) riportati nel Catalogo delle pavimentazioni stradali. In tabella 3 si riportano i tipi di veicoli considerati e i loro carichi per asse.

Considerando l'uguaglianza

2.205 Kisp = 1 tonn

0.22481 Kips = 1 KN

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

Classe	Tipo di veicolo	Assi	Distribuzione dei carichi per asse [KN]							
			Asse anteriore				Asse posteriore			
1	Autocarri leggeri	2	10			20				
2	Autocarri leggeri	2	15			30				
3	Autocarri medi e pesanti	2	40			80				
4	Autocarri medi e pesanti	2	50			110				
5	Autocarri pesanti	3	40			80	80			
6	Autocarri pesanti	3	60			100	100			
7	Autotreni e autoarticolati	4	40			90		80	80	
8	Autotreni e autoarticolati	4	60			100		100	100	
9	Autotreni e autoarticolati	5	40	80	80				80 80	
10	Autotreni e autoarticolati	5	60	90	90				100 100	
11	Autotreni e autoarticolati	5	40	100				80	80 80	
12	Autotreni e autoarticolati	5	60	110				90	90 90	
13	Mezzi d'opera	5	50	120				130	130 130	
14	Autobus	2	40			80				
15	Autobus	2	60			100				
16	Autobus extraurbani	2	50			80				

Tabella 2 - Tipo di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse

mentre in tabella 4 è indicata la loro frequenza, espressa in percentuale, sul totale dei mezzi commerciali.

TIPO DI STRADA	TIPO VEICOLI															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 Autostrada extraurbana	12,2	0	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	0	0	12,2
2 Autostrade urbane	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
3 Strade extraurbana principale e secondaria a forte traffico	0	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	0,5	0	0	10,5
4 Strade extraurbana secondaria ordinaria	0	0	58,8	29,4	0	5,9	0	2,8	0	0	0	0	0,2	0	0	2,9
5 Strade extraurbana secondaria turistiche	24,5	0	40,8	16,3	0	4,15	0	2	0	0	0	0	0,05	0	0	12,2
6 Strade urbane di scorrimento	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
7 Strade urbane di quartiere e locali	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
8 Corsie preferenziali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	53	0

Tabella 3 - Percentuale veicoli commerciali in base al tipo di strada

Con riferimento alla progettazione si sono considerate le percentuali per “autostrade extraurbane” ottenendo così

Classe	Tipo di veicolo	% traffico pesante	n° veicoli	Assi	Distribuzione dei carichi per asse [Kips]									
					Asse anteriore				Asse posteriore					
1	Autocarri leggeri	12,20%	3224248	2	2,2			4,5						
2	Autocarri leggeri	0,00%	0	2	3,4			6,7						
3	Autocarri medi e pesanti	24,40%	6448495	2	9,0			18,0						
4	Autocarri medi e pesanti	14,60%	3858526	2	11,2			24,7						
5	Autocarri pesanti	2,40%	634278	3	9,0			18,0	18,0					
6	Autocarri pesanti	12,20%	3224248	3	13,5			22,5	22,5					
7	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	4	9,0			20,2		18,0				18,0
8	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	4	13,5			22,5		22,5				22,5
9	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	9,0	18,0	18,0							18,0 18,0
10	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	13,5	20,2	20,2							22,5 22,5
11	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	9,0	22,5								18,0 18,0 18,0
12	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	13,5	24,7								20,2 20,2 20,2
13	Mezzi d'opera	0,10%	26428	5	11,2	27,0								29,2 29,2 29,2
14	Autobus	0,00%	0	2	9,0			18,0						
15	Autobus	0,00%	0	2	13,5			22,5						
16	Autobus extraurbani	12,20%	3224248	2	11,2			18,0						

Dalla distribuzione dei carichi per asse, valutiamo la presenza di assi singoli, tandem e tridem. Per gli assi tandem e tridem il peso complessivo sarà dato dalla somma dei pesi degli assi che li compongono.

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

Classe	Tipo di veicolo	% traffico pesante	n° veicoli	Assi	Distribuzione dei carichi per asse [Kips]			
					Asse anteriore		Asse posteriore	
1	Autocarri leggeri	12,20%	3224248	2	2,2		4,5	
2	Autocarri leggeri	0,00%	0	2	3,4		6,7	
3	Autocarri medi e pesanti	24,40%	6448495	2	9,0		18,0	
4	Autocarri medi e pesanti	14,60%	3858526	2	11,2		24,7	
5	Autocarri pesanti	2,40%	634278	3	9,0		36,0	
6	Autocarri pesanti	12,20%	3224248	3	13,5		45,0	
7	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	4	9,0		20,2	18,0
8	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	4	13,5		22,5	22,5
9	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	9,0	36,0	36,0	
10	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	13,5	40,5	45,0	
11	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	9,0	22,5	54,0	
12	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	13,5	24,7	60,7	
13	Mezzi d'opera	0,10%	26428	5	11,2	27,0	87,7	
14	Autobus	0,00%	0	2	9,0		18,0	
15	Autobus	0,00%	0	2	13,5		22,5	
16	Autobus extraurbani	12,20%	3224248	2	11,2		18,0	



Per poter procedere con il calcolo, bisogna omogeneizzare i carichi generati dal traffico pesante in modo tale da avere una distribuzione di traffico equivalente composta da soli assi standard equivalenti che risultano essere pari 8.2 tonnellate (18 kips) e tali da generare gli stessi effetti di carico. Per fare questo ci serviamo delle tabelle con i fattori di equivalenza riportate all'interno dell'AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Per autostrade extraurbane il PSI finale, come suggerito dalla tabella estratta dal Catalogo delle pavimentazioni risulta essere pari a 3.

	Tipo di strada	Affidabilità	PSI
1)	autostrade extraurbane	90	3
2)	autostrade urbane	95	3
3)	strade extr. principali e secondarie a forte traffico	90	2,5
4)	strade extr. secondarie ordinarie	85	2,5
5)	strade extr. second-turistiche	80	2,5
6)	strade urbane di scorrimento	95	2,5
7)	strade urbane di quartiere e locali	90	2
8)	corsie preferenziali	95	2,5

Nel caso specifico faremo riferimento alle tabelle dei fattori di equivalenza per un PSI finale pari a 3 e ipotizzando n SN pari a 3. Attraverso le tabelle di equivalenza sono stati calcolati i coefficienti interpolando linearmente i fattori correttivi qualora non siano presenti tutti i valori dei pesi.

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

Classe	Tipo di veicolo	% traffico pesante	n° veicoli	Assi	Distribuzione dei carichi per asse [Kips]			
					Asse anteriore		Asse posteriore	
1	Autocarri leggeri	12,20%	3224248	2	2,2		4,5	
2	Autocarri leggeri	0,00%	0	2	3,4		6,7	
3	Autocarri medi e pesanti	24,40%	6448495	2	9,0		18,0	
4	Autocarri medi e pesanti	14,60%	3858526	2	11,2		24,7	
5	Autocarri pesanti	2,40%	634278	3	9,0		36,0	
6	Autocarri pesanti	12,20%	3224248	3	13,5		45,0	
7	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	4	9,0		20,2	18,0
8	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	4	13,5		22,5	22,5
9	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	9,0	36,0	36,0	
10	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	13,5	40,5	45,0	
11	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	9,0	22,5	54,0	
12	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	13,5	24,7	60,7	
13	Mezzi d'opera	0,10%	26428	5	11,2	27,0	87,7	
14	Autobus	0,00%	0	2	9,0		18,0	
15	Autobus	0,00%	0	2	13,5		22,5	
16	Autobus extraurbani	12,20%	3224248	2	11,2		18,0	

Il numero di passaggi di assi di carico equivalente nella vita utile è dato dalla seguente tabella:

Classe	Tipo di veicolo	% traffico pesante	n° veicoli	Assi	Coefficienti di eq all'asse standard da 18 kips				
					Asse anteriore		Asse posteriore		
1	Autocarri leggeri	12,20%	3224248	2	4192		38691		
2	Autocarri leggeri	0,00%	0	2	0		0		
3	Autocarri medi e pesanti	24,40%	6448495	2	799613		6448495		
4	Autocarri medi e pesanti	14,60%	3858526	2	953056		11729919		
5	Autocarri pesanti	2,40%	634278	3	78651		875304		
6	Autocarri pesanti	12,20%	3224248	3	1367081		9447046		
7	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	4	78651		932389	634278	
8	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	4	549074		2771267	2771267	
9	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	78651	875304	875304		
10	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	549074	2602919	3794305		
11	Autotreni e autoarticolati	2,40%	634278	5	78651	1357355	1052902		
12	Autotreni e autoarticolati	4,90%	1294985	5	549074	3936754	3133863		
13	Mezzi d'opera	0,10%	26428	5	6528	112849	254240		
14	Autobus	0,00%	0	2	0		0		
15	Autobus	0,00%	0	2	0		0		
16	Autobus extraurbani	12,20%	3224248	2	796389		3224248		
					5888681	8885181	44577973	3405546	3405546

Sommando i diversi passaggi di assi di carico in riferimento alla tipologia di veicoli si è proceduto alla determinazione del numero totale di assi equivalenti transitanti durante la vita utile della pavimentazione oggetto dello studio.

Numero di passaggi equivalenti totale	66162926
----------------------------------------------	-----------------

Pari a $W_{18}(20) = 66162926$

A questo punto, determinato il numero di passaggi di veicoli pesanti, si è potuta verificare la formulazione dell'AASHTO Guide invertendo per ottenere il valore reale dello SN. Formulazione (1):

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Dalla seguente formula si sono definiti:

Indice di affidabilità: $R = Z_r \cdot S_0 = - 0.577$

Dal catalogo delle pavimentazioni si possono assumere questi come valori di R	
95%	Autostrade urbane e corsie preferenziali
90%	Autostrade extraurbane, strade urbane principali e secondarie a forte traffico, strade urbane di quartiere e locali
85%	Strade extraurbane secondarie - ordinarie
80%	Strade extraurbane secondarie - turistiche
So	Calcolato tra 0.40 e 0.50 per le autostrade flessibili

R[%]	50	60	70	75	80	85	90	92	95	98	99	99.9
Z _R	0.000	-0.253	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405	-1.645	-2.054	-2.327	-3.090

ΔPSI differenza indice di prestazione: $\Delta PSI = PS_{li} - PS_{lf} = 1.2$

Come Psi iniziale viene considerato 4.2

PS _{lf}	Tipo di strada
3	Autostrade
2,5	Media importanza
2	Modesta importanza

Mr Modulo resiliente del terreno di sottofondo = 80 Mpa: 11601 psi

Il modulo resiliente in relazione alle caratteristiche del sottofondo fornitoci dalla committente è pari a 11601 psi effettuando la conversione 1 Mpa = 145.02 psi

Una volta definiti tutti i parametri della formulazione dell'AASHTO Guide, l'unico termine che rimane incognito è lo Structural Number SN. Per poter calcolare questo valore si è utilizzata la seguente formulazione:

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

Dove:

s: spessore dello strato

a: Coefficiente Strutturale dello strato che dipende dal materiale

m: Coefficiente di drenaggio del materiale

secondo quanto definito da precedenti progettazioni e da quanto concordato con la committenza si sono considerati i coefficienti a e m come segue:

Valori di riferimento per a	
usura drenante	0,28
binder	0,38
base	0,28
fondazione	0,14
Valori di riferimento per m	
Strati legati	1
Misto cementato	1,2
Misto granulare	1,2

Otteniamo il valore di **SN pari a 5.88**, che andrà così ripartito:

Strato	Spessore(cm) precedenti	Sni
<i>usura drenante</i>	5	0,56
<i>binder</i>	7	1,064
<i>base in c.b</i>	14	1,568
<i>fondazione misto cementato</i>	20	1,344
<i>fondazione misto stabilizzato</i>	20	1,344
SN totale		5,88

Gli spessori degli strati della pavimentazione, ipotizzati dalla committenza, **non risultano verificati**. Infatti, inserendo lo SN all'interno della formulazione (1) si è ottenuto il valore di **7.64** che confrontato con il valore di $\log_{10} W_{18} = 7.82$, risulta che la pavimentazione ipotizzata **non sia verificata per l'entità di traffico**.

5 IPOTESI PAVIMENTAZIONE ALTERNATIVA TRATTA D

La pavimentazione oggetto di verifica corrisponde alla tratta D, con un pacchetto stradale che risulta essere:

<i>Strato</i>	<i>Spessore(cm)</i>
<i>usura drenante</i>	5
<i>binder</i>	7
<i>base in c.b</i>	14
<i>fondazione misto cementato</i>	20
<i>fondazione misto granulare</i>	20

5.1 VERIFICA 1 MR=100

Il committente propone una modifica del Modulo Resiliente del sottofondo, portandolo da 80 Mpa a 100 Mpa.

Come riportato nel calcolo sottostante:

Mr Modulo resiliente del terreno di sottofondo = 100 Mpa: 14502 psi

Il modulo resiliente in relazione alle caratteristiche del sottofondo fornitoci dalla committente è pari a 14502 psi effettuando la conversione 1 Mpa = 145.02 psi

Una volta definiti tutti i parametri della formulazione dell'AASHTO Guide, l'unico termine che rimane incognito è lo Structural Number SN. Per poter calcolare questo valore si è utilizzata la seguente formulazione:

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

Dove:

s: spessore dello strato

a: Coefficiente Strutturale dello strato che dipende dal materiale

m: Coefficiente di drenaggio del materiale

secondo quanto definito da precedenti progettazioni e da quanto concordato con la committenza si sono considerati i coefficienti a e m, come segue:

<i>Valori di riferimento per a</i>	
<i>usura drenante</i>	0,28
<i>binder</i>	0,38
<i>base</i>	0,28
<i>fondazione misto cementato</i>	0,14
<i>fondazione misto granulare</i>	0,14

Valori di riferimento per m	
Strati legati	1
Misto cementato	1,2
Misto granulare	1,2

Otteniamo il valore di **SN pari a 5.88**, che andrà così ripartito:

Strato	Spessore(cm) committente	Sni
usura drenante	5	0,56
binder	7	1,06
base in c.b	14	1,57
fondazione misto cementato	20	1,34
fondazione misto stabilizzato	20	1,34
SN totale		5,88

Con il numero di passaggi di veicoli pesanti, si è potuta verificare la formulazione dell'AASHTO Guide invertendo per ottenere il valore reale dello SN. Formulazione (1):

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Gli spessori degli strati della pavimentazione, ipotizzati dalla committenza, **risultano verificati**. Infatti, inserendo lo SN all'interno della formulazione (1) si è ottenuto il valore di **7.86** che confrontato con il valore di $\log_{10} W_{18} = 7.82$, risulta che la pavimentazione ipotizzata **sia verificata per l'entità di traffico**.

In questo modo la pavimentazione risulterebbe verificata con i valori riportati nella seguente tabella:

TRATTA D	Log10(W18)	SN	α mc	α ms	Sottofondo	Y pavimentazione	Verificata
Pacchetto committente	7,82	5,88	0,14	0,14	100	7,86	SI

5.2 Verifica 2 $M_r=100$ $a_{mc}=0.20$

Il committente propone una modifica del Modulo Resiliente portandolo da 80 Mpa a 100 Mpa e del coefficiente $\alpha_{\text{fondazione misto cementato}}$ da 0.14 a 0.20

Come riportato nel calcolo sottostante:

M_r Modulo resiliente del terreno di sottofondo = 100 Mpa: 14502 psi

Il modulo resiliente in relazione alle caratteristiche del sottofondo fornitoci dalla committente è pari a 14502 psi effettuando la conversione 1 Mpa = 145.02 psi

Una volta definiti tutti i parametri della formulazione dell'AASHTO Guide, l'unico termine che rimane incognito è lo Structural Number SN. Per poter calcolare questo valore si è utilizzata la seguente formulazione:

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

Dove:

s: spessore dello strato

a: Coefficiente Strutturale dello strato che dipende dal materiale

m: Coefficiente di drenaggio del materiale

secondo quanto definito da precedenti progettazioni e da quanto concordato con la committenza si sono considerati i coefficienti α e m, modificando il coefficiente α misto cementato portandolo da 0.14 a 0.20:

Valori di riferimento per α	
usura drenante	0,28
binder	0,38
base	0,28
fondazione misto cementato	0,2
fondazione misto granulare	0,14

Valori di riferimento per m	
Strati legati	1
Misto cementato	1,2
Misto granulare	1,2

Otteniamo il valore di **SN pari a 7.03**, che andrà così ripartito:

Strato	Spessore(cm) committente	Sni
<i>usura drenante</i>	5	0,56
<i>binder</i>	7	1,06
<i>base in c.b</i>	14	1,57
<i>fondazione misto cementato</i>	20	1,92
<i>fondazione misto stabilizzato</i>	20	1,34
SN totale		6,46

Con il numero di passaggi di veicoli pesanti si è potuta verificare la formulazione dell'AASHTO Guide invertendo per ottenere il valore reale dello SN. Formulazione (1):

$$\log_{10}W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}M_R - 8.07$$

Gli spessori degli strati della pavimentazione, ipotizzati dalla committenza, **risultano verificati**. Infatti, inserendo lo SN all'interno della formulazione (1) si è ottenuto il valore di **8.16** che confrontato con il valore di $\log_{10} W_{18} = 7.82$, risulta che la pavimentazione ipotizzata **sia verificata per l'entità di traffico**.

In questo modo la pavimentazione risulterebbe verificata con i valori riportati nella seguente tabella:

TRATTA D	Log10(W18)	SN	α mc	α ms	Sottofondo	Y pavimentazione	Verificata
Pacchetto committente	7,82	6,46	0,2	0,14	100	8,16	SI

A.5 CONCLUSIONI

A valle della verifica e progettazione dei pacchetti autostradali e di viabilità minori proposti dalla committenza, si riassume quanto ottenuto:

TRATTO	W(18) 20 anni	Log10(W18)	SN	α mc	α ms	Sottofondo(Mpa)	Y pavimentazione	Verificata
D	66.162.926	7,82	5,88	0,14	0,14	100	7,86	SI
			6,46	0,2	0,14	100	8,16	SI

Nota:

mc = misto cementato

ms = misto stabilizzato.