

S.S. 16 "ADRIATICA": TRONCO BARLETTA - BARI

Lavori di completamento delle aste di collegamento tra la S.S. 16 "Adriatica" e la litoranea (ex SS 16) a nord ed a sud di Molfetta ed a sud di Giovinazzo lungo il tratto tra il km 774+200 ed il km 785+600

Sistemazione funzionale Rotatoria e assi viari di collegamento tra il nuovo porto commerciale e le zone produttive e la S.S. 16 bis

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BABA016ASTENS

PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA

IL PROGETTISTA E COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Alberto SANCHIRICO	ATTIVITA' DI SUPPORTO PROGETTAZIONE: RTP CAPOGRUPPO MANDATARIA:
GRUPPO DI LAVORO Geom. Fiorentino AGRIMANO Geom. Michele VELOCE	 SETAC S.r.l. Servizi & Engineering: Trasporti Ambiente Costruzioni Via Don Guanella 15/B - 70124 Bari Tel/Fax (2 linee) : +39 080 5027679
IL GEOLOGO Dott. Pasquale SCORCIA	MANDANTI:   
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Massimiliano FIDENZI	Ing. Giovanni LAMPARELLI Ing. Michele NOTARISTEFANO
RESPONSABILE STRUTTURA TERRITORIALE: PROGETTAZIONE Ing. Vincenzo MARZI	ARCHEOLOGIA: Cooperativa CAST s.r.l. Arte Archeologia Storia del Territorio Dott.ssa Archeologa Lucia CECI

PROGETTO STRADALE

ELABORATI GENERALI

Relazione di calcolo della pavimentazione

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. N. PROG.	T00_PS00_TRA_RE02_A.pdf			
CVC	M01	D	2001	A	-
CODICE ELAB.	T00	PS00	TRA	RE02	
A	EMISSIONE		Feb. 2021		
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI	2
3	TRAFFICO PREVISTO SULL'INFRASTRUTTURA	2
3.1	FONTI DI CONSULTAZIONE	2
3.2	ANALISI DI TRAFFICO	2
4	PACCHETTI STRADALI ADOTTATI	4
5	VERIFICA (METODO AASHTO)	5
5.1	STRUCTURAL NUMBER	5
5.2	MODULO RESILIENTE.....	7
5.3	AFFIDABILITA' E DEVIAZIONI STANDARD E PRESENT SERVICEABILITY INDEX	8
5.4	IL NUMERO DI ASSI EQUIVALENTE.....	9
5.5	COEFFICIENTE DI DRENAGGIO	11
6	ESITO DELLE VERIFICHE	11
6.1	PACCHETTO A (sp. 60 cm)	11
6.2	PACCHETTO B (sp. 45 cm)	13
6.3	PACCHETTO C (sp. 63 cm)	15
7	CONCLUSIONI	18

1 PREMESSA

Questa relazione descrive il dimensionamento e la verifica dei pacchetti delle sovrastrutture stradali previsti nel progetto definitivo in oggetto.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI

- Norma AASHTO T274-82
- DM 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"
- Catalogo delle Pavimentazioni stradali del CNR.

3 TRAFFICO PREVISTO SULL'INFRASTRUTTURA

3.1 FONTI DI CONSULTAZIONE

[1] Rilievo di traffico effettuato da Anas nella zona industriale di Molfetta, in Via Dei Lavoratori, il 20/10/2020

[2] Rapporto annuale di traffico SS 16, anno 2016.

[3] Rilievo di traffico effettuato da Anas nella zona di intersezione tra la ex SS 16 (Molfetta zona industriale) e la strada vicinale Padula.

[4] Comune di Molfetta – Piano Regolatore Portuale "Parte II - Relazione Tecnico Illustrativa"

3.2 ANALISI DI TRAFFICO

Al fine di determinare il TGM da utilizzare per il dimensionamento e la verifica dei pacchetti delle sovrastrutture stradali previsti nel progetto in oggetto, si è fatto riferimento alla fonte di consultazione di cui al precedente paragrafo ed alle peculiarità della zona in esame.

In particolare, al fine di dimensionare e verificare il pacchetto relativo al **sistema rampa - corsia di immissione sulla S.S.16** e relativa **intersezione a rotatoria di interconnessione con Via dei Lavoratori**, il TGM è stato definito a partire dalla fonte di consultazione [1]. Da tale rilievo di traffico effettuato nella zona industriale di Molfetta il 20/10/2020 si evince che, per tali arterie, il TGM risulta pari a **25000 [veicoli/gg]** con una percentuale di mezzi pesanti pari al 20%.

Per quanto concerne le **viabilità secondarie individuate dalla rotatoria, il Ramo A, il ramo B, il Ramo C, la complanare ed il tratto di raccordo**, il TGM è stato definito in relazione alle condizioni locali (zona industriale) ed al traffico medio che caratterizza le complanari del contesto locale. In base a queste valutazioni il TGM è stato considerato pari a **4000 [veicoli/gg]** con una percentuale di mezzi pesanti pari al 12%.

Per quanto riguarda **l'anello circolatorio e i relativi rami**, il TGM è stato definito in prima luogo a partire dai dati forniti dal rilievo di traffico [3] (relativo a tre postazioni di rilievo) e in secondo luogo sulla base della stima del traffico pesante generato dall'entrata in esercizio del nuovo porto commerciale di Molfetta [4]. Dall'analisi dei dati di rilievo [3] è stato ricavato il TGM risultato pari a **16872 [veicoli/giorno]** con una percentuale di mezzi pesanti pari al 3.7%.

Il valore di TGM così determinato è relativo all'anno corrente, ovvero 2020, dunque risulta necessario effettuare una proiezione al 2040, anno coincidente con il termine della vita utile della pavimentazione del presente progetto definitivo. A tal proposito è necessario considerare che la domanda di trasporto è soggetta a fluttuazioni nel tempo che ne determinano l'incremento o la diminuzione, con conseguente

variazione dei volumi di traffico che impegnano l'infrastruttura da un lato e variazione dei livelli di servizio dall'altro. Tali fluttuazioni sono fortemente legate alle dinamiche socio-economiche del bacino di utenza servito dalla infrastruttura a cui si sommano le variazioni di traffico, generalmente incrementali, dovute alla maggiore attrattività della infrastruttura, per cui si parla di aliquota di traffico attratto da altre modalità e/o indotto. Le valutazioni effettuate in studi pregressi portano a ritenere che il trend di crescita del traffico potrebbe essere addirittura negativo nel tempo. Inoltre, anche importanti settori trainanti del trasporto su strada (quali agricoltura, manifatturiero, costruzioni) negli ultimi 15-20 anni non hanno subito significativi incrementi di addetti e, in più di un caso, hanno subito, invece, una deflessione nel numero degli addetti. Il dato socio-economico, dunque, induce a considerare attendibile una stabilità se non una diminuzione nel tempo della domanda di trasporto, in linea generale.

D'altro canto, vi è mancanza di certezza sulla evoluzione del traffico e, soprattutto, sull'effettivo incremento dello stesso nel tempo, a causa della attuale congiuntura e della prevista diminuzione nel tempo dei parametri economici più influenti sui trasporti.

In particolare, per quanto riguarda l'anello circolatorio, esso è stato progettato per collegare il nuovo porto commerciale alla viabilità. L'entrata in esercizio del porto, che si ipotizza coincidere con la realizzazione delle opere in progetto, genererà un traffico merci direttamente collegato alle attività commerciali della nuova infrastruttura portuale. Per tale ragione, si è fatto riferimento a quanto riportato a pag. 60 della relazione del Comune di Molfetta – Piano Regolatore Portuale dal titolo "Parte II - Relazione Tecnico Illustrativa" (par. Coefficienti caratteristici), dove viene indicato che le strutture del porto commerciale sono state dimensionate per "[...] una quantità di merci movimentabili pari ad 1.232.000 tonn/anno." Pertanto, ipotizzando l'entrata in esercizio a pieno regime del nuovo porto e una attività costante negli anni, si ricava un TGM di soli mezzi pesanti pari a **190 [veicoli/giorno]** che, sommato al TGM rilevato di 16872 [veicoli/giorno], eleva quest'ultimo a **17062 [veicoli/giorno]** con una percentuale di mezzi pesanti pari a circa il **5%**.

Le considerazioni sopra esposte inducono a ritenere ragionevole lasciare invariata la domanda di trasporto per tutto l'orizzonte temporale prescelto per l'analisi di traffico. Tuttavia, a vantaggio di sicurezza, nelle calcolazioni di che trattasi si è fatto riferimento ad un **tasso di crescita medio annuo dell'1%**. Non si considera tuttavia applicabile tale tasso di crescita al TGM dei mezzi pesanti generato dal porto commerciale, dato che si è considerata una attività massima già dal primo anno di esercizio dell'infrastruttura portuale.

Come orizzonte temporale, partendo dall'anno **2020**, è stato considerato l'anno **2040**, facendo quindi **riferimento ad un arco temporale di 20 anni**, periodo tipico per le stime di convenienza economica per le infrastrutture stradali, come indicato dalle Linee Guida Europee per le analisi benefici costi.

Dunque, applicando il suddetto tasso di crescita, il TGM utilizzato per il dimensionamento e la verifica dei pacchetti delle sovrastrutture stradali previsti nel progetto in oggetto sono:

- TGM= **30504 [veicoli/gg]** (intersezione a rotatoria con relativi bracci confluenti, rampa e corsia di immissione sulla S.S.16),
- TGM= **5130 [veicoli/gg]** (complanare, intersezione a rotatoria, ramo A, ramo B, ramo C e tratto di raccordo)
- TGM= **20777 [veicoli/giorno]** (Anello circolatorio, ramo A, ramo B, ramo C, ramo D e corsia dedicata di svolta a destra).

4 PACCHETTI STRADALI ADOTTATI

I pacchetti di sovrastruttura stradale carrabile adottati in questo progetto definitivo, sono stati differenziati in base alla funzionalità della strada.

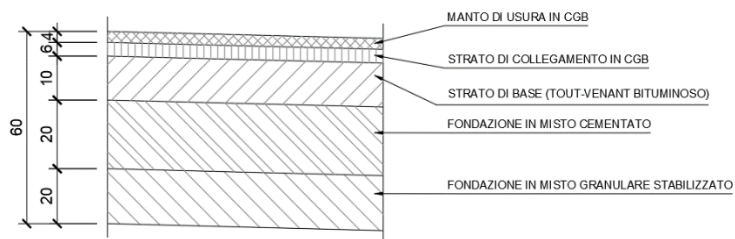
In particolare, in basso si riportano tutti i pacchetti stradali adottati ed una tabella riassuntiva che associa le viabilità di progetto ai relativi pacchetti adottati.

PACCHETTO STRADALE	ASSE ASSOCIATO
Pacchetto A	Ramo 1, Ramo 2, Ramo 3, Intersezione a rotatoria, rampa e corsia di immissione, strada di servizio.
Pacchetto B	Complanare, Rotatoria, Ramo A, Ramo B, Ramo C, Raccordo
Pacchetto C	Anello circolatorio, Ramo A, Ramo B, Ramo C e Ramo D e corsia dedicata di svolta a destra

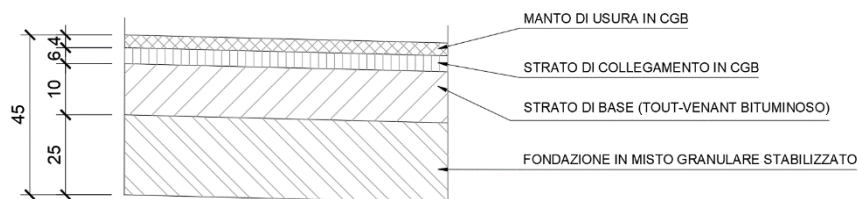
Pacchetti stradali adottati

In basso si riportano i particolari costruttivi dei vari pacchetti adottati:

PACCHETTO A



PACCHETTO B





5 VERIFICA (METODO AASHTO)

Il calcolo delle pavimentazioni ha come finalità il dimensionamento degli spessori dei diversi strati che costituiscono la sovrastruttura stradale atti a garantire un adeguato indice di efficienza del manto stradale e di prevederne, in via teorica, i relativi limiti di durata temporale.

Il metodo di calcolo utilizzato nel progetto definitivo e riproposto nel presente progetto definitivo, trattandosi di pavimentazione flessibile, è l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Il metodo è empirico-statistico, basato su osservazioni sperimentali di vari parametri opportunamente correlati da funzioni di regressione: consiste nel determinare il numero di assi standard (asse singolo con ruote gemelle da 18 kips= 80KN) che la pavimentazione può sopportare raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale PSI.

Questo fornisce il numero di passaggi $W_{8.2}$ di un asse "standard" di 8.2 t (80 kN) compatibile con la sovrastruttura stradale.

Il numero di passaggi $W_{8.2}$ in questione è dato dalla seguente relazione:

$$\log N_{8.2} = Z_R \cdot S_o + 9.36 \cdot \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_R - 8.07$$

dove:

SN Structural Number o indice di spessore, espresso in pollici (1" = 2.54 cm);

Z_R, S_o deviazioni standard associate all'affidabilità di progetto R;

ΔPSI differenza tra il valore iniziale e finale dell'indice PSI;

M_R modulo resiliente effettivo del terreno di supporto, in psi (1 psi = 7.03e-2 kg/cm²).

5.1 STRUCTURAL NUMBER

Il numero strutturale della pavimentazione SN (structural number) è determinato sommando il contributo di ciascun strato i-esimo che costituisce la sovrastruttura stradale.

Il contributo di ogni singolo strato alla prestazione complessiva della pavimentazione è dato dalla seguente formula:

$$SN_i = s_i d_i a_i$$

indicando con:

- s_i lo spessore in mm dello strato i -esimo;
- d_i il coefficiente di drenaggio dello strato i -esimo (1 per gli strati legati in bitume; 0,98 per il misto cementato; 0,95 per il misto granulare;)
- a_i il coefficiente strutturale dello strato i -esimo.

In basso una tabella relativa ai coefficienti a_i strutturali dello strato i -esimo.

Pavement Layer	Layer Strength Coefficient a_i				
	TRL (1975)	AASHTO (1993)	Paterson (1987)	CRR1 (1993b)	Cenek and Patrick (1994)
<i>Surface Courses</i>					
Surface Treatment (ST)			0.20 - 0.40		0.300
Surface Dressing (SSD/DSD)	0.100				
Premix Carpet (PMC)				0.180	
Semi-Dense Carpet (SDC), 25mm				0.250	
Asphalt Mixture (cold/hot premix of low stability)	0.200		0.200		0.200
Asphalt Concrete (AC), 25 mm	0.180			0.300	
Asphalt Concrete (AC), 40/ 25 mm					
AC, MR30 = 1500 MPa			0.300		0.300
AC, MR30 = 2500 MPa			0.400		0.400
AC, MR30 = 4000 MPa			0.500		0.450
Elastic Mod. at 68F, E = 100,000 psi		0.200			
Elastic Mod. at 68F, E = 200,000 psi		0.300			
Elastic Mod. at 68F, E = 300,000 psi		0.350			
Elastic Mod. at 68F, E = 400,000 psi		0.425			
<i>Base Courses</i>					
GB, CBR = 30%	0.070	0.095	0.00-0.07		
GB, CBR = 50%	0.100	0.110	0.00-0.10		
GB, CBR = 70%	0.120	0.125	0.10-0.12		
CBR = 90%	0.135	0.130	0.12-0.13		
CBR = 110%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam (WBM)				0.140	0.140
CB, UCS = 0.7 MPa	0.100	0.100	0.100		
CB, UCS = 2.0 MPa	0.150	0.140	0.150		
CB, UCS = 3.5 MPa	0.200	0.175	0.200		
CB, UCS = 5.0 MPa	0.245	0.205	0.240		
Bituminous Base Material			0.320		
Dense Bituminous Macadam/ Built-Up Spray Grout (BUSG)				0.200	
Thin Bituminous Layer, BT				0.160	
AB, Marshall Stability, 200 lb		0.120		0.140	
AB, Marshall Stability, 400 lb		0.160			
AB, Marshall Stability, 800 lb		0.200			
AB, Marshall Stability, 1200 lb		0.240			
<i>Sub-base Courses</i>					
GB, CBR = 5%	0.055	0.040	0.060		
GB, CBR = 15%	0.085	0.090	0.090		
GB, CBR = 25%	0.100	0.100	0.100		
GB, CBR = 50%	0.120	0.130	0.120		
GB, CBR = 100%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam, Oversized				0.140	
Brick Soling				0.120	
Brick Ballast/ Aggregates				0.120	
Local Gravel/ Kankar				0.100	
Cemented Materials,			0.140		

Source: Chakrabarti and Bennett (1994)

Valori del coefficiente strutturale a_i

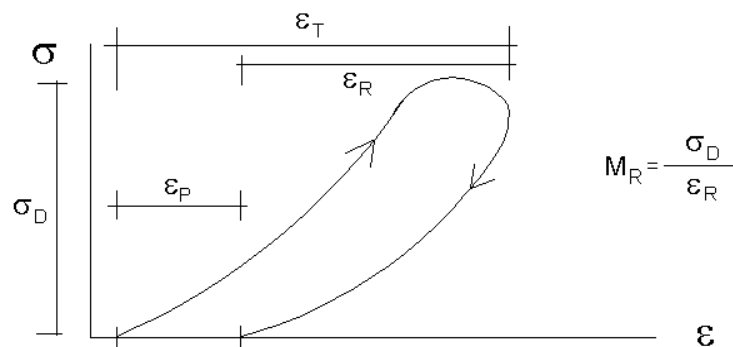
5.2 MODULO RESILIENTE

La sovrastruttura o pavimentazione deve avere una stratigrafia idonea a trasmettere al terreno carichi compatibili con la sua portanza. La portanza è rappresentabile con il modulo resiliente, M_R , un modulo elastico dinamico che tiene conto soltanto della componente viscosa reversibile ϵ_R della deformazione del materiale. Si può porre:

$$M_R = \frac{\sigma_D}{\epsilon_R}$$

dove σ_D è lo sforzo deviatorico della prova triassiale ed ϵ_R è la porzione reversibile della deformazione. Il modulo resiliente può essere determinato direttamente in laboratorio seguendo le indicazioni della norma statunitense AASHTO T-274-82 (prova di carico ripetuto a compressione triassiale) per il sottofondo ed i materiali non legati; per i materiali stabilizzati con bitume e per gli altri materiali legati, invece, viene determinato con prove a trazione indiretta (ASTM D-4123-82). Generalmente, si sottopongono in laboratorio provini cilindrici di materiale a stati tensionali di compressione triassiale. Il provino, posto in una cella triassiale, è soggetto, al generico istante t , ad una pressione laterale σ_3 e sulle basi alla pressione $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_D$. Durante la prova, solitamente, la σ_3 rimane costante mentre il deviatore di tensione σ_D varia ciclicamente.

Conseguentemente anche le deformazioni verticali totali varieranno ciclicamente: la differenza, dopo un assegnato numero di cicli, tra la deformazione totale e quella residua individua la deformazione recuperata o "resiliente" ϵ_R .



Andamento tipico di una prova per la determinazione del modulo resiliente (Elliott e Thornton, 1988)

La deformazione totale viene misurata all'inizio mentre quella residua al termine della fase di scarico: tra le due letture delle deformazioni trascorre un intervallo di tempo dell'ordine di alcuni secondi che permette il sostanziale recupero della deformazione elastica viscosa reversibile (elasticità ritardata)¹. Generalmente si adottano le correlazioni di Heukelom e Klomp tra il modulo resiliente ed il valore effettivo del CBR:

$$M_R = 100 \cdot CBR [kg / cm^2]$$

¹ GIANNATASIO P., CALIENDO C., ESPOSITO L., FESTA B., PELLECCIA W., *Portanza dei sottofondi*, Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, Napoli, 1990

Di seguito si riportano a titolo indicativo i valori del modulo resiliente utilizzati nella stesura del Catalogo delle sovrastrutture CNR (B.U. 178/95)².

Mr [MPa]	CBR [%]	K [kPa/mm]
150	15	100
90	9	60
30	3	20

Modulo resiliente del terreno di sottofondo in funzione dell'indice CBR o del coefficiente di reazione K

5.3 AFFIDABILITA' E DEVIAZIONI STANDARD E PRESENT SERVICEABILITY INDEX

La affidabilità R (reliability) esprime la probabilità che il numero di applicazioni di carico N_t che la struttura può sopportare prima di raggiungere un prefissato grado di ammaloramento finale (PSI_{fin}) sia maggiore o uguale al numero di applicazioni di carico N_T che realmente sono applicati alla sovrastruttura nel periodo di progettazione T considerato (vita utile):

$$R(\%) = 100 \cdot Prob(N_t \geq N_T)$$

In sintesi, R esprime la probabilità di sopravvivenza della strada in relazione al periodo di vita utile prefissato e le grandezze Z_R e S_o sono strettamente collegate a tale affidabilità.

Si rammenta che per "vita utile" si intende il periodo oltre il quale la degradazione subita dalla strada rende necessari importanti interventi di manutenzione straordinaria, al limite il suo completo rifacimento.

Z_R rappresenta il valore della variabile standardizzata δ_o al quale corrisponde la probabilità R che si abbiano valori ad esso superiori. Considerando l'espressione di δ_o , l'affidabilità può essere riscritta

$$R(\%) = 100 \cdot Prob(\delta_o \geq 0)$$

come

con δ_o variabile aleatoria caratterizzata da una legge di probabilità normale e deviazione standard S_o . Nella successiva Tabella si riportano i valori di Z_R in funzione di R³.

R	ZR	R	ZR	R	ZR
50	0.000	90	-1.282	96	-1.751
60	-0.253	91	-1.340	97	-1.881
70	-0.524	92	-1.405	98	-2.054

² DOMENICHINI L., GIANNATTASIO P., MARCHIONNA A. et alii, *Criteri di dimensionamento delle sovrastrutture di catalogo*, Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, Napoli, 1993

³ AASHTO, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, 1985

75	-0.674	93	-1.476	99	-2.327
80	-0.841	94	-1.555	99.9	-3.090
85	-1.037	95	-1.645	99.99	-3.750

Valori della deviazione standard ZR associate all'affidabilità di progetto R

Il Catalogo Italiano delle Pavimentazioni propone i seguenti valori:

Tabella 9 - Affidabilità e PSI

Tipo di strada	Affidabilità (%)	PSI
1) Autostrade extraurbane	90	3
2) " urbane	95	3
3) Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie - ordinarie	85	2.5
5) " " " -turistiche	80	2.5
6) Strade urbane di scorrimento	95	2.5
7) " " di quartiere e locali	90	2
8) Corsie preferenziali	95	2.5

Catalogo delle pavimentazioni, relazione tra tipologia di strada, Affidabilità e PSI

Il "Present Serviceability Index", PSI, rappresenta numericamente il grado di ammaloramento della strada, potendo variare da 0 (pessimo) a 5 (ottimo).

5.4 IL NUMERO DI ASSI EQUIVALENTE

Per quanto concerne la distribuzione dello spettro di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada si fa riferimento alla tab. 3 presente nel catalogo delle pavimentazioni come di seguito riportata.

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	0.3	---	---	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	---

Spettri tipici di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada

Il procedimento di calcolo si basa sul passaggio dallo spettro di traffico a quello degli assi, nota la composizione degli stessi, che formano ciascuno dei 16 tipi di veicoli commerciali. Tale composizione può essere riassunta nella seguente tabella ove per ciascuna riga è riportato il numero di assi che compongono il veicolo commerciale.

Tipo veicolo commerciale	Percentuale %		Frequenze parziali degli assi															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	0,00%	Frequenza degli assi distribuiti per peso																
2	0,00%																	
3	58,80%					58,8%				58,8%								
4	29,40%						29,4%						29,4%					
5	0,00%																	
6	5,90%								5,9%				11,8%					
7	0,00%																	
8	2,80%									2,8%			8,4%					
9	0,00%																	
10	0,00%																	
11	0,00%																	
12	0,00%																	
13	0,20%							0,2%								0,2%	0,6%	
14	0,00%																	
15	0,00%																	
16	2,90%								2,9%			2,9%						
					58,8%	32,5%	8,7%		61,7%		20,2%	29,4%	0,2%	0,6%				

Frequenze degli assi distinti per peso

Il prodotto di ciascun elemento della precedente figura per il vettore delle frequenze, con cui si presentano i veicoli commerciali, consente di valutare le frequenze parziali di ciascun asse. La somma per colonna, infine, fornisce il numero di ciascun tipo di asse presente in 100 veicoli commerciali. La regola della 4^a potenza fornisce per l'asse standard di 80 KN i seguenti coefficienti equivalenza.

Peso asse (ton)	Frequenza asse	Coefficiente equivalenza 4 ^a potenza	Transiti da 8 t
1	0,0%	0,00024	0,00%
2	0,0%	0,00391	0,00%
3	0,0%	0,01978	0,00%
4	58,8%	0,06250	3,68%
5	0,0%	0,15259	0,00%
6	8,7%	0,31641	2,75%
7	0,0%	0,58618	0,00%
8	61,7%	1,00000	61,70%
9	0,0%	1,60181	0,00%
10	20,2%	2,44141	49,32%
11	29,4%	3,57446	105,09%
12	0,2%	5,06250	1,01%
13	0,6%	6,97290	4,18%
TOTALE	179,6%	TOTALE	227,73%

Transiti da 8 t

5.5 COEFFICIENTE DI DRENAGGIO

Nella AASHTO (Design Guide versione 1986 e 1993) i coefficienti di drenaggio sono usati per modificare il valore del coefficiente di spessore ai di ogni strato non stabilizzato al di sopra del sottofondo in una pavimentazione flessibile.

Gli strati in conglomerato bituminoso (in materiali legati) non sono influenzati da un eventuale cattivo drenaggio dello strato o dal tempo in cui si trova in condizioni di saturazione. In questi casi il coefficiente di drenaggio vale comunque 1.

Per gli altri strati i coefficienti di drenaggio sono determinati considerando la qualità del drenaggio e il tempo, in percentuale, che la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicino alla saturazione. In particolare, per gli strati in misto cementato si utilizza un coefficiente di drenaggio pari a 0,98 mentre per gli strati in misto granulare stabilizzato si utilizza un coefficiente pari a 0,95.

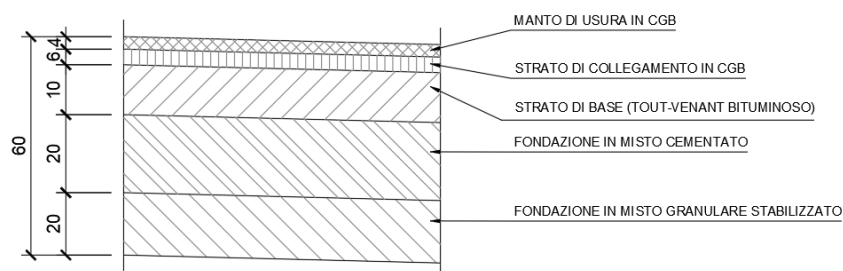
6 ESITO DELLE VERIFICHE

Con i dati su riportati, la formula AASHTO fornisce, per ciascuno dei pacchetti predimensionati in precedenza, i seguenti valori di verifica.

6.1 PACCHETTO A (SP. 60 CM)

La verifica consiste nell'appurare che W18 amm (numero di assi che la pavimentazione è in grado di sopportare) risulta essere maggiore di W18 (numero di assi che si presume transiteranno durante la vita utile della sovrastruttura, cioè prima che si raggiunga l'indice di servizio in corrispondenza del quale si ritiene che essa debba essere rifatta).

In basso si riporta il particolare costruttivo del pacchetto A:



Pacchetto A

OUTPUT DELL'ANALISI PER IL PACCHETTO A

In basso si evidenzia che il pacchetto A, di spessore totale pari a 60 cm e costituito da:

- 4 cm di usura con cgb
- 6 cm di binder in cgb
- 10 cm di base Tout Venant bituminoso
- 20 cm di fondazione in misto cementato
- 20 cm di fondazione in misto granulare stabilizzato

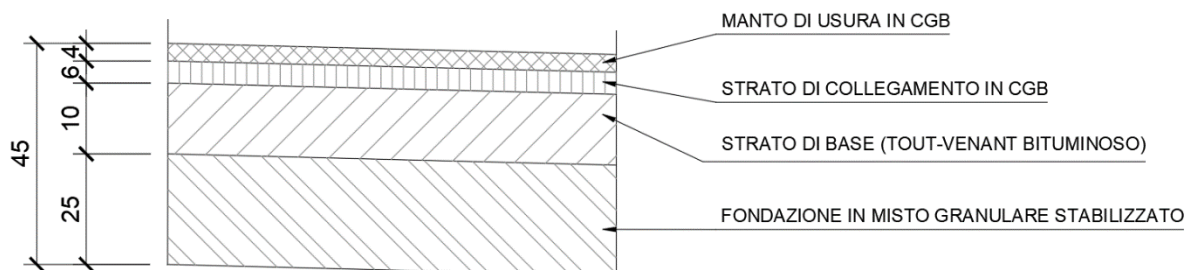
presenta un numero di assi ammissibili maggiore del numero di assi che si presume transiteranno durante la vita utile della sovrastruttura, dunque la verifica è soddisfatta.

STRATI	Spessore s_i (mm)	Coefficiente drenaggio (d_i)	Coefficiente spessore (a_i)	$s_i \cdot d_i \cdot a_i$	CBR	M_R (psi)	M_R (N/mm ²)
Sottofondo					5,00	7006,46	48,3
Fondazione (misto gran. Stab.)	200	0,95	0,120	22,80			
Base cementata	200	0,98	0,20	39,20			
Base bitumata	100	1	0,18	18,00			
Collegamento (*)	60	1	0,40	24,00			
Usura drenante	40	1	0,45	18,00			
				122,00			
SNSG =					0,608109508		
SN = SNSG+0,0394 \sum $s_i \cdot d_i \cdot a_i$ =					5,414909508		
Log ₁₀ W ₁₈ =	7,482033						
Pari ad un transito ammissibile W₁₈ :				30.341.232	assi da 8t		
a fronte di un transito complessivo di				26.361.293	assi da 8t	VERIFICATO	

6.2 PACCHETTO B (SP. 45 CM)

La verifica consiste nell'appurare che W18 amm (numero di assi che la pavimentazione è in grado di sopportare) risulta essere maggiore di W18 (numero di assi che si presume transiteranno durante la vita utile della sovrastruttura, cioè prima che si raggiunga l'indice di servizio in corrispondenza del quale si ritiene che essa debba essere rifatta).

In basso si riporta il particolare costruttivo del pacchetto B:



Pacchetto B

DATI DI INPUT DELLA VERIFICA PACCHETTO B:

STRATI	Spessore s_i (mm)	Coefficiente drenaggio (d_i)	Coefficiente spessore (a_i)	$s_i \cdot d_i \cdot a_i$	CBR	M_R (psi)	M_R (N/mm ²)
Sottofondo					5,00	7006,46	48,3
Fondazione (misto gran. Stab.)	250	0,95	0,120	28,50			
Base cementata	0	0,98	0,20	0,00			
Base bitumata	100	1	0,18	18,00			
Collegamento (*)	60	1	0,40	24,00			
Usura drenante	40	1	0,45	18,00			
				88,50			

Altri dati di input:

- Affidabilità R: 85% poiché si considera la viabilità di progetto come una strada extraurbana secondaria ordinaria (tab. 9_catalogo delle pavimentazioni);
- ZR: -1,037 associato a R=85%;
- S0: 0,45;
- PSI (iniziale): 4,8;
- PSI (finale): 2,5;
- DPSI: 2,3;
- TGM: 5130 veic/gg
- % Mezzi pesanti: 12%
- Distribuzione direzionale: 50% -50%
- Tipo di strada: 4) Strada extraurbana secondaria ordinaria

Altri dati di input:

C) DETERMINAZIONE ANALITICA	
TGM =	5.130
Numero giorni commerciali per settimana (gg) =	5
Numero settimane commerciali per anno (n.sett.) =	52
Aliquota di traffico per direzione più carica (pd) =	0,5
Percentuale veicoli commerciali (p) =	0,12
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale (pl) =	1
Coefficiente di dispersione delle traiettorie (d) =	0,8
Numero medio di assi per veicolo commerciale (na) =	2,7
Tasso crescita traffico durante la vita utile r =	0,01
Vita utile in anni (n) =	20

OUTPUT DELL'ANALISI PER IL PACCHETTO B:

In basso si evidenzia che il pacchetto B, di spessore totale pari a 45 cm e costituito da:

- 4 cm di usura con cgb
- 6 cm di binder in cgb
- 10 cm di base Tout Venant bituminoso
- 25 cm di fondazione in misto granulare stabilizzato

presenta un numero di assi ammissibili maggiore del numero di assi che si presume transiteranno

durante la vita utile della sovrastruttura, dunque la verifica è soddisfatta.

STRATI	Spessore s_i (mm)	Coefficiente drenaggio (d_i)	Coefficiente spessore (a_i)	$s_i \cdot d_i \cdot a_i$	CBR	M_R (psi)	M_R (N/mm ²)
Sottofondo					5,00	7006,46	48,3
Fondazione (misto gran. Stab.)	250	0,95	0,120	28,50			
Base cementata	0	0,98	0,20	0,00			
Base bitumata	100	1	0,18	18,00			
Collegamento (*)	60	1	0,40	24,00			
Usura drenante	40	1	0,45	18,00			
				88,50			
SNSG =					0,608109508		
SN = SNSG+0,0394 $\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i$ =					4,095009508		
Log ₁₀ W ₁₈ =	6,693922						
Pari ad un transito ammissibile W₁₈ :				4.942.217 assi da 8t			
a fronte di un transito complessivo di				3.210.326 assi da 8t		VERIFICATO	

6.3 PACCHETTO C (SP. 63 CM)

Si riporta di seguito il particolare costruttivo del pacchetto C:



Pacchetto C

Come già esposto nel par. 5.4, per quanto concerne la distribuzione dello spettro di traffico di veicoli commerciali, per ciascun tipo di strada si fa riferimento alla tab. 3 presente nel "Catalogo delle pavimentazioni". Nello specifico, lo spettro di traffico adottato nel presente calcolo è quello riferito alle strade extra-urbane principali e secondarie a forte traffico.

Numero totale passaggi di veicoli pesanti:		5 150 000													CATEGORIA DI VEICOLO	Totale passaggi per tipo di asse
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16		
% passaggi per ogni categ.		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%		
ASSE	asse da 15 KN	674 650												674 650		
	asse da 30 KN	674 650												674 650		
	asse da 40 KN		2 034 250		406 850		133 900				133 900			2 708 900		
	asse da 50 KN			540 750									25 750	1 107 250		
	asse da 60 KN					133 900		128 750				133 900		396 550		
	asse da 80 KN		2 034 250				267 800							2 842 800		
	asse da 90 KN						133 900							133 900		
	asse da 100 KN							386 250				133 900		520 150		
	asse da 110 KN			540 750								133 900		674 650		
	asse da 120 KN												25 750	25 750		
	asse tandem da 160 KN				406 850				133 900					540 750		
	asse tandem da 180 KN													0		
	asse tandem da 200 KN					133 900			133 900	128 750				396 550		
	asse triplo da 240 KN									128 750	133 900			262 650		
asse triplo da 270 KN											133 900		133 900			
asse triplo da 390 KN												25 750	25 750			

Con l'aiuto della tab.2 presente nel "Catalogo delle pavimentazioni" è possibile attribuire a ciascun tipo di veicolo i corrispondenti assi, così da conoscere quante volte ciascun tipo di asse caricherà la pavimentazione in progetto. Considerato che l'anello circolatorio rappresenta il punto di passaggio inevitabile di tutto il traffico, per il calcolo è stato considerato l'intero valore del TGM per 5 giorni e 52 settimane l'anno. La tabella successiva riporta il numero di volte che ciascuna tipologia di asse caricherà la pavimentazione nell'arco dei 20 anni di vita utile, che dai calcoli effettuati si attesta a 5.149.152. Si considera un numero totale di passaggi di veicoli pesanti pari a **5.150.000**.

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		

Ripetizioni di carico dei diversi assi per i 20 anni di vita utile della pavimentazione suddivisa per tipologia di assi.

Per poter passare dal numero di assi transitanti durante la vita utile della pavimentazione a quello di assi equivalenti è necessario il calcolo del coefficiente di struttura SN che a sua volta dipende dal tipo di pavimentazione considerata. In particolare, di seguito si riporta il calcolo dello Structural Number per il pacchetto C:

Calcolo del Structural Number PACCHETTO C				
Spessori pavimentazione:	cm	pollici	Coefficienti SN	SN (pollici)
usura in CB	5	1,97	0,45	0,89
binder in CB	6	2,36	0,40	0,94
base in CB	12	4,72	0,18	0,85
sottobase in MC	20	7,87	(0,20x0.98)	1,57
fondazione in MG	20	7,87	(0,12x0.95)	0,94
Totale	63		Totale	5,12

Con tali dati è innanzitutto possibile calcolare il numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN equivalenti al numero di passaggi di veicoli pesanti attesi (pari a 5.150.000 veicoli), infatti, la tabella riportata di seguito mostra i risultati dei calcoli eseguiti.

	kN (Lx)	kips (Lx)	L2	βx	Coeff. di equivalenza	totale passaggi	Totale passaggi assi std equivalenti
asse da	15	3,37	1	0,40078253	0,001268345	674 650	856
asse da	30	6,74	1	0,40495918	0,019203744	674 650	12 956
asse da	40	8,99	1	0,41129573	0,063118519	2 708 900	170 982
asse da	50	11,24	1	0,42175513	0,158871332	1 107 250	175 910
asse da	60	13,48	1	0,43750408	0,332456096	396 550	131 835
asse da	80	17,98	1	0,48978532	0,995503081	2 842 800	2 830 016
asse da	90	20,22	1	0,52888156	1,505543612	133 900	201 592
asse da	100	22,47	1	0,5783868	2,138216507	520 150	1 112 193
asse da	110	24,72	1	0,63967209	2,896758811	674 650	1 954 298
asse da	120	26,97	1	0,71413908	3,791034492	25 750	97 619
asse tandem da	160	35,96	2	0,48978532	1,369356117	540 750	740 479
asse tandem da	180	40,45	2	0,52888156	2,070938198	0	0
asse tandem da	200	44,94	2	0,5783868	2,941206222	396 550	1 166 335
asse tridem da	240	53,93	3	0,48978532	1,650130857	262 650	433 407
asse tridem da	270	60,67	3	0,52888156	2,495566331	133 900	334 156
asse tridem da	390	87,64	3	0,80321793	8,02272481	25 750	206 585
N. totale passaggi asse standard equivalente (n):							9 569 221

$$\begin{aligned}
 SN &= 5,12 \\
 pt &= 3 \\
 Gt &= -0,3521825 \\
 \beta_{18} &= 0,49012918
 \end{aligned}$$

Calcolo del numero di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80kN

Considerato che l'anello circolatorio rappresenta il punto di passaggio inevitabile di tutto il traffico proveniente dagli assi ad esso collegati è stato assunto un PSI finale pari a 3. Pertanto, dalla applicazione dell'equazione riportata nel cap. 5 si ottiene:

Modulo Resiliente (psi) =	7006,46
PSI iniziale =	4,8
PSI finale =	3
ZR (90%) =	-1,282
So =	0,45
log N _{8,2} =	7,08

N_{8,2} =	12 043 664
n_{8,2} =	9 569 221
F =	1,26

Il numero massimo di ripetizioni di carico dell'asse standard da 80 kN che la pavimentazione è in grado di sopportare è dunque pari a 12.043.664 a fronte di un numero di ripetizioni di carico attese dell'asse standard da 80kN pari a 9.569.221.

La pavimentazione risulta dunque **verificata**.

7 CONCLUSIONI

In tutti i casi di progetto, il numero di assi cumulati standard equivalenti da 8. ton transitanti (valore in azzurro) risulta inferiore al corrispondente valore ammissibile (in verde). Pertanto, le verifiche hanno avuto esito positivo.