

AUTOSTRADA (A12) : ROMA - CIVITAVECCHIA

TRATTO: CERVETERI - TORRIMPIETRA

POTENZIAMENTO FUNZIONALE TRATTO CERVETERI - TORRIMPIETRA

PROGETTO DEFINITIVO

AU - CORPO AUTOSTRADALE

PROGETTO STRADALE

PAVIMENTAZIONI

Dimensionamento delle nuove pavimentazioni - Relazione tecnica

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola
Ord. Ingg. Milano n.A26796

**RESPONSABILE STRADE
E ARREDI STRADALI**

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Danilo D'Alessandro
Ord. Ingg. L'Aquila N. 1503

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Orlando Mazza
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

**RESPONSABILE PROGETTAZIONE
NUOVE OPERE AUTOSTRADALI**

RIFERIMENTO PROGETTO			CODICE IDENTIFICATIVO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111206	LL00	PD	AU	PRS	00000	00000	R	S T D	0040	00	SCALA -

 	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
							n.	data
							0	LUGLIO 2018
							1	-
							2	-
REDATTO:		VERIFICATO:				3	-	
						4	-	

	<p>VISTO DEL COMMITTENTE</p>  <p>IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO ING. M. TORRESI</p>	<p>VISTO DEL CONCEDENTE</p>  <p>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</p>
--	--	---

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELLE SOVRASTRUTTURE DI PROGETTO.....	4
2.1	DATI DI INPUT	5
2.1.1	<i>Caratteristiche di portanza del terreno di sottofondo</i>	6
2.1.2	<i>Misto granulare non legato</i>	6
2.1.3	<i>Misto cementato</i>	6
2.1.4	<i>Conglomerati bituminosi.....</i>	7
2.1.5	<i>Temperatura della pavimentazione.....</i>	8
2.1.6	<i>Flussi di traffico e numero di ripetizioni di carico di progetto</i>	8
2.2	CRITERI DI VERIFICA	9
2.3	RISULTATI DELLE VERIFICHE.....	9
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	11
	ALLEGATI	12
	ALLEGATO A: ELABORAZIONE DEI DATI DI TEMPERATURA.....	12
	ALLEGATO B: ELABORAZIONE DEI DATI DI TRAFFICO	14
	ALLEGATO C: ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI ALLE MISCELE BITUMINOSE	17
	ALLEGATO D: VERIFICA STRUTTURALE DELLE PAVIMENTAZIONI.....	23

Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 2-1. NUOVE PIAZZOLE_COMPOSIZIONE DELLA SOVRASTRUTTURA DI PROGETTO	4
FIGURA 2-2. RIQUALIFICA MARGINE INTERNO_COMPOSIZIONE DELLA SOVRASTRUTTURA DI PROGETTO	4
FIGURA 2-3. INTERVENTO PRIMA FASE	5
FIGURA 2-4. RINFORZO GIUNTO	5
FIGURA 5 - DIAGRAMMA DI CONTROLLO DELLA MEDIA DEI MODULI DINAMICI RELATIVI AL MISTO CEMENTATO	7
TABELLA 2-1. RIEPILOGO DATI DI INPUT	9
TABELLA 2-2. RISULTATI DELLA VERIFICA STRUTTURALE.....	10

1 PREMESSA

Nel presente documento vengono illustrati i risultati del dimensionamento delle nuove pavimentazioni previste nell'ambito del progetto di potenziamento funzionale del tratto dell'autostrada A12 tra Cerveteri e Torrimpietra.

Il progetto prevede, solo in carreggiata sud, la riorganizzazione della sezione esistente al fine di introdurre una terza corsia di marcia da rendere fruibile agli utenti solo nei periodi di picco del traffico; nei restanti periodi tale corsia svolge la funzione di corsia di emergenza.

La suddetta riorganizzazione della piattaforma autostradale esistente rende necessaria la riqualifica dell'attuale margine interno nonché la creazione, solo in carreggiata sud, di 16 piazzole di sosta necessarie a mitigare l'assenza della corsia di emergenza nei periodi in cui la corsia "aggiuntiva" è utilizzata come terza corsia di marcia.

2 DESCRIZIONE DELLE SOVRASTRUTTURE DI PROGETTO

Allo stato attuale, in carreggiata sud lungo l'intero sviluppo dell'intervento, è presente una pavimentazione che, a cavallo della corsia di marcia, risulta costituita da una lastra armata (longitudinalmente e trasversalmente) in cls di larghezza 6m (occupa 1.25m della corsia di emergenza, 3.75m della corsia di marcia e 1m della corsia di sorpasso) su cui è presente uno strato in conglomerato bituminoso.

Il progetto delle pavimentazioni per le nuove piazzole (in seguito anche alla demolizione della porzione di pavimentazione di larghezza 1.25m compresa tra il ciglio pavimentato esistente ed il bordo lastra) ha previsto l'impiego di un pacchetto di spessore complessivo pari a 69cm (TIPO 1) con una sovrastruttura così composta:

- Usura drenante in conglomerato bituminoso (CB) con bitumi modificati tipo Hard di 4 cm;
- Binder in CB con bitumi modificati tipo Hard di 5 cm;
- Base in CB con bitumi modificati tipo Hard di 15 cm;
- Fondazione legata in misto cementato di 25 cm;
- Fondazione non legata in misto granulare di 20 cm.

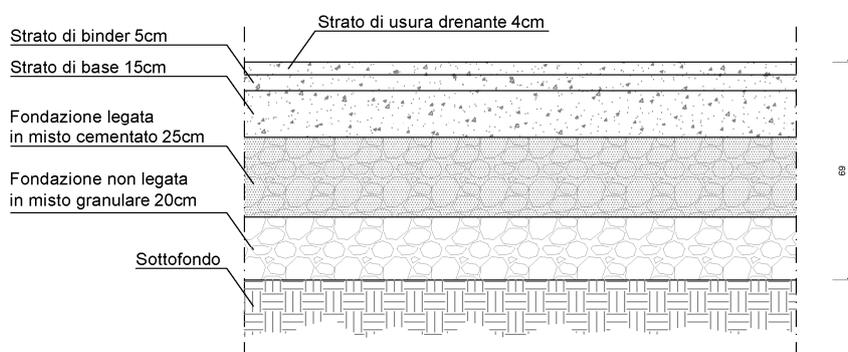


Figura 2-1. Nuove piazzole_Composizione della sovrastruttura di progetto

La riorganizzazione della piattaforma stradale comporta la necessità di riqualifica del margine interno esistente (che nella configurazione di progetto diventerà in parte pavimentato della corsia di sorpasso) prevedendo l'impiego di un pacchetto di spessore complessivo pari a 59cm (TIPO 2) con una sovrastruttura così composta:

- Usura drenante in conglomerato bituminoso (CB) con bitumi modificati tipo Hard di 4 cm;
- Binder in CB con bitumi modificati tipo Hard di 5 cm;
- Base in CB con bitumi modificati tipo Hard di 10 cm;
- Fondazione legata in misto cementato di 20 cm;
- Fondazione non legata in misto granulare di 20 cm.

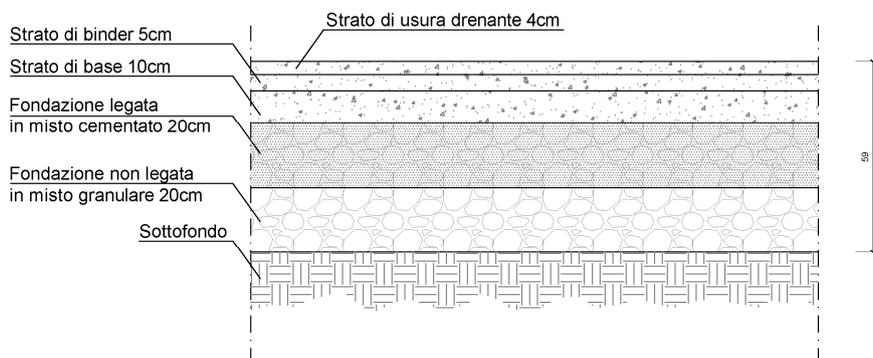


Figura 2-2. Riqualifica margine interno_Composizione della sovrastruttura di progetto

Il progetto prevede inoltre in prima fase la rimozione degli strati di binder e usura drenante attualmente in opera attraverso il seguente intervento:

- Fresatura conglomerati bituminosi per uno spessore di 8cm;
- Stesa strato di binder in CB con bitumi modificati tipo Hard di 4 cm.

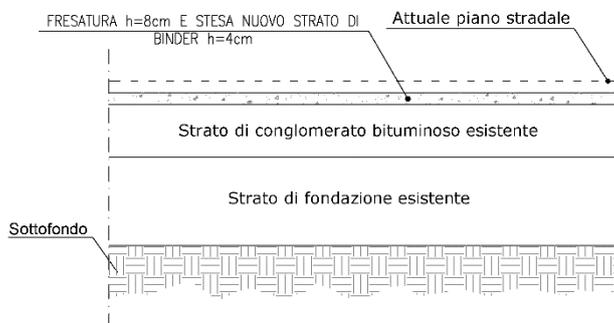


Figura 2-3. Intervento prima fase

Il nuovo strato di binder fungerà da supporto per la realizzazione della segnaletica di cantiere nonché per gli interventi successivi previsti in progetto (stesa del nuovo strato di usura drenante).

A seguito del suddetto intervento di prima fase, al fine di impedire la risalita di fessure che possono innescarsi in corrispondenza del punto di discontinuità tra pavimentazioni a differenti rigidità, si procederà al rinforzo del giunto (sia lato corsia “aggiuntiva” di marcia che lato corsia di sorpasso per l'intero sviluppo dell'intervento) tra la lastra in cls e la pavimentazione in conglomerato bituminoso mediante la posa, a cavallo del giunto, di una membrana bituminosa autoadesiva rinforzata con rete in fibra di vetro ad alto carico di rottura.

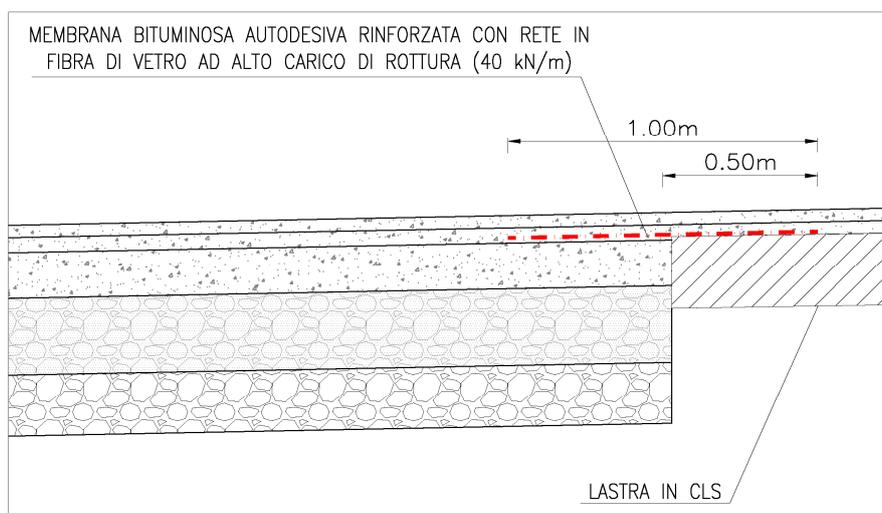


Figura 2-4. Rinforzo giunto

In ultima fase il progetto prevede la stesa dello strato di usura drenante in carreggiata sud. In carreggiata nord, sempre in ultima fase, è previsto il rifacimento dello strato di usura drenante al fine di ripristinare le opportune caratteristiche superficiali post-cantierizzazione.

2.1 DATI DI INPUT

Per la valutazione della vita utile della sovrastruttura di progetto si sono resi necessari i seguenti dati di input:

1. caratteristiche di portanza dei terreni di sottofondo di nuova realizzazione;
2. caratteristiche tenso-deformative e di resistenza dei materiali impiegati per la realizzazione delle nuove sovrastrutture;
3. temperature caratteristiche dell'aria nella zona in cui è ubicato l'intervento;

4. flussi di traffico pesante previsti nell'arco del periodo di progetto nel tratto di intervento.

2.1.1 Caratteristiche di portanza del terreno di sottofondo

Le caratteristiche di portanza del terreno di sottofondo delle nuove pavimentazioni su nuovo sedime sono state desunte dalle prescrizioni contenute nel Capitolato Tecnico d'Appalto [1]. A tale proposito si riporta quanto segue:

“Salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate in sede di progettazione dalla necessità di garantire la stabilità del rilevato, il modulo di deformazione M_d al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm) dovrà risultare non inferiore a 60 MPa nell'intervallo compreso tra 1,5÷2,5 daN/cm² sul piano di posa della fondazione della pavimentazione autostradale in rilevato, in trincea e nel riempimento dell'arco rovescio in galleria; ...”.

Per determinare il valore di progetto del modulo elastico si è fatto quindi riferimento alle seguenti correlazioni, proposte da Ferrari/Giannini [2] e riportate anche negli allegati al Catalogo delle Pavimentazioni Stradali [3]:

$$E_{din} (MPa) = 1.9 \div 2.1 M_d$$

Nei calcoli si è quindi assunto come valore di progetto un valore del modulo dinamico pari a 120 MPa.

Il corrispondente rapporto di Poisson è stato assunto pari a 0.40.

2.1.2 Misto granulare non legato

Le caratteristiche meccaniche del misto granulare sono state stimate facendo riferimento alla espressione di Heukelom e Klomp che, in virtù del comportamento non lineare dei materiali non legati, fa discendere il valore del **modulo elastico** del misto granulare dal suo spessore e dalle caratteristiche del terreno di sottofondo su cui è appoggiato:

$$E_2 = 0.206 \cdot h^{0.45} \cdot E_1$$

dove:

E_2 = modulo elastico del misto granulare

E_1 = modulo elastico del sottofondo

h = spessore in mm dello strato di misto granulare

Per strati di spessore pari a 20 cm, poggiati su un sottofondo di modulo pari a 120 MPa, si è considerato un valore di calcolo pari a 268 MPa.

Il rapporto di Poisson è stato assunto pari a 0.40.

2.1.3 Misto cementato

Nelle soluzioni progettuali individuate è prevista la realizzazione di una sovrastruttura comprendente, al di sotto degli strati legati a bitume, uno strato in misto cementato di spessore pari a 25 cm per la sovrastruttura TIPO 1 e 20 cm per la TIPO 2.

Le caratteristiche meccaniche del misto cementato da assumere nel progetto sono state desunte dalle Norme Tecniche. Per tali materiali è previsto un nomogramma di controllo che oltre i 90 giorni di maturazione stabilisce un intervallo di accettazione del modulo dinamico rilevato mediante FWD compreso tra 4000 e 12000 MPa. A questo proposito le stesse Norme Tecniche stabiliscono quanto segue:

“Il riferimento prestazionale sarà costituito dal modulo elastico reale derivato mediante retrocalcolo con i valori rilevati in opera (anche a strato ricoperto) con il F.W.D. in un periodo compreso tra 7 e 90 giorni dalla stesa. La media dei valori di modulo sui tronchi omogenei dovrà essere quella compresa nell'area A del diagramma che segue”.

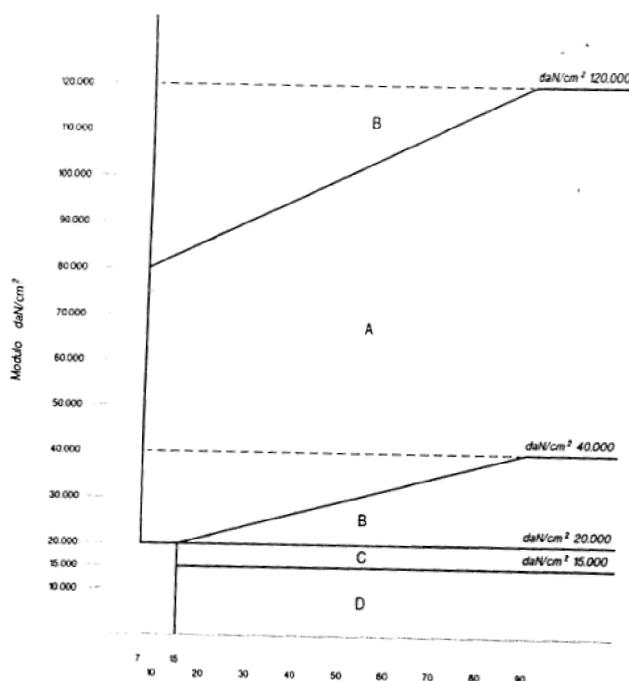


Figura 5 - Diagramma di controllo della media dei moduli dinamici relativi al misto cementato

Nei calcoli si è pertanto assunto un valore prudenziale del modulo pari a 3000 MPa, sia per garantire buoni margini di sicurezza per la variabilità di prestazione che il materiale può manifestare durante la produzione ed all'atto della messa in opera, sia per non trascurare i fenomeni di fessurazione che inevitabilmente lo interessano nel corso della sua vita utile.

Il rapporto di Poisson è stato assunto pari a 0.25.

2.1.4 Conglomerati bituminosi

Le caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi, espresse in termini di modulo elastico e di coefficiente di Poisson, sono state valutate, facendo riferimento agli studi di Francken [4], sulla base delle grandezze volumetriche che caratterizzano il conglomerato (percentuale dei vuoti e volume percentuale degli aggregati) e delle proprietà reologiche dei leganti (modulo complesso ridotto).

In particolare il modulo complesso ridotto del bitume è stato determinato tramite correlazione con il modulo di rigidezza S_b .

Le caratteristiche volumetriche delle miscele costituenti i singoli strati sono state estratte dalle Norme Tecniche. Queste prevedono:

- per miscele drenanti-fonoassorbenti una percentuale di bitume compresa tra il 5 ed il 6% ed una percentuale dei vuoti corrispondente a 50 rotazioni della pressa giratoria maggiore o uguale al 20%;
- per miscele di collegamento una percentuale di bitume (Hard) compresa tra il 4.5 ed il 6% ed una percentuale dei vuoti corrispondente a 120 rotazioni della pressa giratoria compresa tra il 3 ed il 5%;
- per miscele di base una percentuale di bitume (Hard) compresa tra il 4 ed il 5.5% ed una percentuale dei vuoti corrispondente a 120 rotazioni della pressa giratoria compresa tra il 3 ed il 5%.

Nei calcoli si sono pertanto utilizzati i valori mediani degli intervalli di accettazione della percentuale di bitume, mentre per le percentuali dei vuoti si sono prudenzialmente assunti valori coincidenti con gli estremi superiori degli intervalli su citati.

In mancanza di sperimentazione diretta sui leganti da utilizzare effettivamente nella realizzazione della sovrastruttura, per la stima delle proprietà reologiche del legante, si è fatto riferimento ai risultati di uno studio *Round Robin* condotto nell'ambito del RILEM e coordinato dal Belgian Road Research Centre [5]. I valori del modulo di rigidezza S_b erano disponibili ad una frequenza di sollecitazione di 10 Hz ed a temperature T pari a 10, 22 e 40°C. Per estrapolare tali risultati al di fuori dell'intervallo di indagine si è pertanto operata una modellazione della relazione S_b - T mediante funzione di tipo esponenziale:

$$S_b = 627.45 \cdot e^{-0.1387T(^{\circ}C)}$$

La funzione così ottenuta è stata utilizzata per la valutazione del modulo normale ridotto B^* (mediante quindi il calcolo del modulo di rigidezza S_b del legante per ciascuna temperatura media mensile caratterizzante il singolo strato di pavimentazione) da inserire nelle relazioni di Francken per il calcolo del modulo normale complesso E^* . I risultati di queste elaborazioni riguardanti le miscele bituminose sono contenute nell' **Allegato C**.

Per tutte le miscele bituminose si è assunto un valore del rapporto di Poisson pari a 0.35.

2.1.5 Temperatura della pavimentazione

In mancanza di specifiche informazioni, si è fatto riferimento ai dati climatici rilevati negli ultimi 30 anni dalla stazione meteorologica di Roma – Fiumicino. Tali dati climatici sono stati utilizzati (**Allegato A**) per la valutazione delle temperature caratteristiche degli strati in conglomerato bituminoso utilizzando la formulazione di Marchionna:

$$T_{PAV_i} = (1.467 + 0.043 \cdot z) + (1.362 - 0.005 \cdot z) \cdot T_a$$

dove:

- i = i -esimo strato;
- z = quota media dello spessore dell' i -esimo strato rispetto alla sommità della pavimentazione;
- T_a = temperatura media mensile dell'aria, espressa in °C.

2.1.6 Flussi di traffico e numero di ripetizioni di carico di progetto

La determinazione del numero di carichi che dovrà sopportare la struttura della pavimentazione è stata effettuata tenendo conto dei soli veicoli commerciali in quanto questi sono gli unici che influenzano il comportamento strutturale.

Ai fini del solo dimensionamento delle pavimentazioni si è fatto riferimento ad uno scenario cautelativo di utilizzo della corsia "aggiuntiva" ipotizzandone l'apertura tutti i giorni dal 1° maggio al 31 ottobre nel periodo progettuale dal 2022 al 2042; tale calendario di apertura è stato ipotizzato al fine di far fronte ai picchi di traffico estivi riscontrati nell'ambito dell'analisi trasportistica allegata al progetto.

Per l'infrastruttura è stato quindi ipotizzato un periodo di progetto pari a 20 anni. Con riferimento alla sovrastruttura TIPO 1, a partire dal dato di TGM in condizioni di corsia "aggiuntiva" aperta, è stata considerata una percentuale del traffico pesante transitante pari al 70% trattandosi di una sezione a tre corsie. Con riferimento alla sovrastruttura TIPO 2, a partire dal dato di TGM in condizioni di corsia "aggiuntiva" chiusa, è stata considerata una percentuale del traffico pesante transitante pari al 20% trattandosi di una sezione a due corsie.

I flussi di traffico pesante elaborati sulla base del suddetto scenario ed utilizzati per la verifica delle pavimentazioni sono riportati nell' **Allegato B**.

Il traffico pesante di progetto transitante è stato successivamente determinato attraverso la conversione in passaggi di assi equivalenti singoli da 80 kN, secondo la metodologia proposta dall'Asphalt Institute [6], che a sua volta fa riferimento ai fattori di conversione proposti dall'AASHTO Guide [7]. Con riferimento agli spettri di traffico riportati nel Catalogo Italiano delle Pavimentazioni [3], si è assunto un coefficiente di equivalenza tra un generico veicolo pesante ed un asse da 80 kN pari a 2.5.

Ai fini del calcolo strutturale, il numero di ripetizioni di carico di progetto è stato espresso in termini di assi equivalenti/mese. I flussi di traffico sono stati distribuiti omogeneamente nei 12 periodi mensili e così associati alle corrispondenti caratteristiche tenso-deformative degli strati legati a bitume.

2.2 CRITERI DI VERIFICA

I criteri di verifica utilizzati nel calcolo delle pavimentazioni sono quelli proposti dall'Asphalt Institute [6]. Questi trattano separatamente la fessurazione a fatica dei conglomerati, messa in relazione con la massima deformazione di trazione degli strati legati a bitume, e la formazione di ormaie, messa in relazione con la massima deformazione di compressione che si realizza sulla sommità del sottofondo. Il raggiungimento delle condizioni ultime (raggiungimento del Danno unitario) corrisponde, secondo quanto indicato negli studi dell'Asphalt Institute, ad una fessurazione sul 20% della superficie della pavimentazione ed alla formazione di ormaie aventi una profondità di 1.27 cm.

Per quanto concerne la fessurazione, la legge di fatica considerata tiene conto degli effetti di **autoriparazione** del conglomerato bituminoso, derivanti dalle proprietà viscoso elastiche del legante e dal maggior tempo di riposo tra l'applicazione di un carico ed il successivo che vi è nel caso reale rispetto alle più severe prove di laboratorio. Secondo l'Asphalt Institute tali effetti sono responsabili di una vita utile effettiva superiore di 18,4 volte rispetto a quella misurata dalle corrispondenti prove di laboratorio: ciò è tenuto in conto nella legge considerata poiché essa, una volta derivata dalla regressione dei dati di laboratorio, viene successivamente modificata applicando un fattore di traslazione S_{FC} pari a 18,4.

La verifica razionale delle pavimentazioni è stata effettuata utilizzando una schematizzazione di multi-strato elastico ed impiegando il codice di calcolo KENLAYER [8]. Il traffico è stato espresso in termini di ripetizioni di assi equivalenti singoli a ruote gemellate da 80 kN. La configurazione geometrica utilizzata prevede due impronte circolari di raggio 89,2 mm (a cui corrisponde una pressione di gonfiaggio di 800 kPa) distanziate trasversalmente di 0,315 metri.

Si è ipotizzato il raggiungimento di condizioni di perfetta aderenza tra gli strati legati a bitume e aderenza nulla tra questi e la fondazione. Condizioni di perfetta aderenza sono state ipotizzate anche tra fondazione e terreno di sottofondo.

2.3 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Nella tabella seguente si riportano in sintesi i dati di input utilizzati per le verifiche.

Tipologia sovrastruttura		TIPO 1	TIPO 2
Spessori sovrastruttura			
H ₁ USURA	cm	4	4
H ₂ BINDER	cm	5	5
H ₃ BASE	cm	15	10
H ₅ FONDAZIONE LEGATA	cm	25	20
H _{FONDAZIONE NON LEGATA}	cm	20	20
H _{TOTALE}	cm	69	59
Moduli elastici			
Conglomerati bituminosi E ₁ , E ₂ , E ₃	MPa	variabile	variabile
Misto cementato E ₄	MPa	3000	3000
Misto granulare non legato E ₅	MPa	268	268
Sottofondo E ₆	MPa	120	120

Tabella 2-1. Riepilogo dati di input

Facendo riferimento ai criteri limite di progetto descritti in precedenza si è calcolato il danno cumulato corrispondente sia alla fessurazione a fatica sia alla formazione di ormaie utilizzando la legge espressa da Miner secondo la seguente relazione:

$$D = \sum_{i=1}^I \frac{n_i}{N_i}$$

dove:

- n_i è il numero effettivo di ripetizioni di assi transitati;
- N_i è il numero di ripetizioni di assi che portano a rottura il materiale, per le diverse condizioni di temperatura considerate.

I risultati delle verifiche strutturali sono riportate integralmente nell' **Allegato D**.

Nella tabella seguente è riportata una sintesi dei risultati espressi sotto forma di:

- **danno elementare** relativo ad ogni mese dell'anno medio;
- **danno cumulativo** relativo all'anno medio, ottenuto come somma algebrica dei danni elementari sopra detti;
- **vita utile**, corrispondente al numero di anni necessari al raggiungimento di un valore unitario del danno.

DANNO ELEMENTARE	TIPO 1	TIPO 2
GEN	0.00000	0.00118
FEB	0.00000	0.00112
MAR	0.00000	0.00143
APR	0.00000	0.00178
MAG	0.00421	0.00000
GIU	0.00648	0.00000
LUG	0.00910	0.00000
AGO	0.00910	0.00000
SET	0.00648	0.00000
OTT	0.00421	0.00000
NOV	0.00000	0.00169
DIC	0.00000	0.00130
DANNO CUMULATO	0.03959	0.00851
VITA UTILE (anni)	25.26	> 40.00

Tabella 2-2. Risultati della verifica strutturale

Sulla base dei calcoli effettuati le sovrastrutture di progetto risultano verificate in quanto la vita utile di calcolo risulta superiore alla vita di progetto di 20 anni.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1]. *Capitolato Speciale d'Appalto - Parte seconda: opere civili*, Società Autostrade per l'Italia.
- [2]. P. Ferrari e F. Giannini, "*Ingegneria Stradale 2 – Corpo stradale e pavimentazioni*", ISEDI, 1996.
- [3]. "*Catalogo delle Pavimentazioni Stradali*", Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1995.
- [4]. L. Francken e A. Vanelstraeten, "Complex Moduli of Bituminous Binders and Mixes. Interpretation and Evaluation", *Eurobitume Proceedings*, 1996.
- [5]. L. Francken, "*RILEM Report 17 – Bituminous binders and mixes*", 1998.
- [6]. "*Thickness Design – Highways and Streets*", Manual Series n. 1, Asphalt Institute, 1999.
- [7]. "*AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*", AASHTO, 1993.
- [8]. *KENLAYER Program (KENPAVE Software)* - Huang, Y. H. (2004) - Pavement Design and Analysis (Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.).

ALLEGATI

ALLEGATO A: ELABORAZIONE DEI DATI DI TEMPERATURA

Mese	Tmin	Tmax	ΔT
Gen	4.0	13.0	8.5
Feb	4.0	14.0	9.0
Mar	6.0	15.0	10.5
Apr	8.0	18.0	13.0
Mag	12.0	22.0	17.0
Giu	16.0	26.0	21.0
Lug	18.0	29.0	23.5
Ago	18.0	29.0	23.5
Set	16.0	26.0	21.0
Ott	12.0	22.0	17.0
Nov	8.0	17.0	12.5
Dic	5.0	14.0	9.5

I valori della temperatura della pavimentazione T_{PAV} , utilizzati nel calcolo e determinati utilizzando la relazione proposta da Marchionna sono i seguenti:

- Sovrastruttura **TIPO 1**

MESE	T_{ARIA} (°C)	T_{PAV} Usura (°C)	T_{PAV} Binder (°C)	T_{PAV} Base (°C)
GENNAIO	8.5	13.0	13.0	13.1
FEBBRAIO	9.0	13.7	13.7	13.7
MARZO	10.5	15.7	15.7	15.6
APRILE	13.0	19.1	19.0	18.8
MAGGIO	17.0	24.5	24.3	23.9
GIUGNO	21.0	29.9	29.7	29.0
LUGLIO	23.5	33.3	33.0	32.2
AGOSTO	23.5	33.3	33.0	32.2
SETTEMBRE	21.0	29.9	29.7	29.0
OTTOBRE	17.0	24.5	24.3	23.9
NOVEMBRE	12.5	18.5	18.4	18.2
DICEMBRE	9.5	14.4	14.4	14.3

- Sovrastruttura TIPO 2

MESE	T _{ARIA} (°C)	T _{PAV Usura} (°C)	T _{PAV Binder} (°C)	T _{PAV Base} (°C)
GENNAIO	8.5	13.0	13.0	13.1
FEBBRAIO	9.0	13.7	13.7	13.7
MARZO	10.5	15.7	15.7	15.6
APRILE	13.0	19.1	19.0	18.9
MAGGIO	17.0	24.5	24.3	24.0
GIUGNO	21.0	29.9	29.7	29.2
LUGLIO	23.5	33.3	33.0	32.4
AGOSTO	23.5	33.3	33.0	32.4
SETTEMBRE	21.0	29.9	29.7	29.2
OTTOBRE	17.0	24.5	24.3	24.0
NOVEMBRE	12.5	18.5	18.4	18.2
DICEMBRE	9.5	14.4	14.4	14.3

ALLEGATO B: ELABORAZIONE DEI DATI DI TRAFFICO

ANNO	A12 CERVETERI - TORRINI PIETRA Carr. Sud - TGM aperta (**)				A12 CERVETERI - TORRINI PIETRA Carr. Sud - TGM chiusa (***)			
	CL 10+ES+NC	CL 20	CL 30+40+50	TOT	CL 10+ES+NC	CL 20	CL 30+40+50	TOT
2022	22058	1623	1007	24688	16248	1193	929	18370
2023	22362	1647	1022	25031	16472	1211	943	18626
2024	22666	1672	1037	25375	16696	1229	957	18882
2025	22971	1696	1052	25719	16920	1247	971	19138
2026	23194	1716	1065	25975	17084	1262	982	19328
2027	23417	1736	1077	26230	17249	1277	994	19519
2028	23640	1757	1090	26486	17413	1292	1005	19710
2029	23863	1777	1102	26742	17577	1306	1017	19901
2030	24086	1797	1115	26998	17741	1321	1029	20091
2031	24240	1813	1125	27178	17855	1333	1038	20226
2032	24394	1829	1135	27358	17968	1345	1047	20360
2033	24548	1845	1145	27538	18082	1357	1056	20495
2034	24702	1861	1155	27718	18195	1369	1065	20629
2035	24856	1878	1165	27898	18309	1380	1074	20764
2036	24941	1889	1172	28003	18372	1389	1081	20842
2037	25026	1901	1180	28107	18434	1398	1088	20920
2038	25111	1913	1187	28212	18497	1407	1095	20999
2039	25197	1925	1194	28316	18560	1415	1102	21077
2040	25282	1937	1202	28420	18623	1424	1109	21155
2041	25322	1945	1207	28475	18652	1430	1113	21196
2042	25363	1954	1212	28529	18682	1436	1118	21237

(**) TGM relativo al periodo in cui la 3a corsia aggiuntiva è ipotizzata aperta (tutti i giorni da maggio a ottobre)

(***) TGM relativo al periodo in cui la 3a corsia aggiuntiva è ipotizzata chiusa nelle restanti parti dell'anno (tutti i giorni da gennaio ad aprile e da novembre a dicembre)

- Sovrastruttura TIPO 1

	TGM
2022	2630
2023	2669
2024	2709
2025	2748
2026	2781
2027	2814
2028	2847
2029	2879
2030	2912
2031	2938
2032	2964
2033	2990
2034	3016
2035	3042
2036	3062
2037	3081
2038	3100
2039	3119
2040	3139
2041	3152
2042	3166
TOT	46082
MED 2022-2042	2941

TGM VP Dir. sud_Corsia aperta	2941
% corsia più caricata	70%
coeff. eq assi 80 kN	2.5
n° assi 80 kN giorno	5146

Mese	n° assi 80 kN mese
GEN	0
FEB	0
MAR	0
APR	0
MAG	159'540
GIU	154'394
LUG	159'540
AGO	159'540
SET	154'394
OTT	159'540
NOV	0
DIC	0

- Sovrastruttura TIPO 2

	TGM
2022	2122
2023	2154
2024	2186
2025	2218
2026	2244
2027	2270
2028	2297
2029	2323
2030	2350
2031	2371
2032	2392
2033	2413
2034	2434
2035	2455
2036	2470
2037	2486
2038	2502
2039	2517
2040	2533
2041	2544
2042	2555
TOT	37185
MED 2022-2042	2373

TGM VP Dir. sud_Corsia chiusa	2373
% corsia più caricata	20%
coeff. eq assi 80 kN	2.5
n° assi 80 kN giorno	1187

Mese	n° assi 80 kN mese
GEN	36'782
FEB	33'222
MAR	36'782
APR	35'595
MAG	0
GIU	0
LUG	0
AGO	0
SET	0
OTT	0
NOV	35'595
DIC	36'782

ALLEGATO C: ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI ALLE MISCELE BITUMINOSE

- Sovrastruttura TIPO 1

USURA DRENANTE						
G_b (g/cm³)	1.02					
G_g (g/cm³)	2.85					
G_m (g/cm³)	2.085					
P_b	5.5%					
P_{bm}	5.213					
Calcolo degli indici V_g, V_b, V_a						
V_g [%]	69.1					
V_b [%]	10.9					
V_a [%]	20.0					
Calcolo del modulo elastico						
	T_{pav} (°C)	S_b (MPa)	B*	R*	E_{inf} (MPa)	E (MPa)
GEN	13.0	102.8	0.034	0.294	12356	3633
FEB	13.7	93.6	0.031	0.281	12356	3470
MAR	15.7	70.6	0.024	0.244	12356	3013
APR	19.1	44.2	0.015	0.190	12356	2351
MAG	24.5	20.9	0.007	0.124	12356	1529
GIU	29.9	9.9	0.003	0.077	12356	954
LUG	33.3	6.2	0.002	0.056	12356	696
AGO	33.3	6.2	0.002	0.056	12356	696
SET	29.9	9.9	0.003	0.077	12356	954
OTT	24.5	20.9	0.007	0.124	12356	1529
NOV	18.5	48.5	0.016	0.200	12356	2473
DIC	14.4	85.2	0.028	0.268	12356	3313

BINDER (CON BITUMI MODIFICATI)

G_b (g/cm³)	1.02
G_g (g/cm³)	2.75
G_m (g/cm³)	2.409
P_b	5.25%
P_{bm}	4.988

Indici V_g, V_b, V_a*

V_g [%]	83.0
V_b [%]	12.0
V_a [%]	5.0

Calcolo del parametro f1 della legge di fatica dell'Asphalt Institute

V_b [%]	12.0
V_a [%]	5.0
M	0.078
C	1.196
f1	0.495

Calcolo del modulo elastico

	Tpav (°C)	Sb (MPa)	B*	R*	Einf (MPa)	E (MPa)
GEN	13.0	102.7	0.034	0.330	31052	10241
FEB	13.7	93.7	0.031	0.316	31052	9814
MAR	15.7	71.0	0.024	0.277	31052	8605
APR	19.0	44.8	0.015	0.220	31052	6822
MAG	24.3	21.4	0.007	0.147	31052	4549
GIU	29.7	10.2	0.003	0.094	31052	2910
LUG	33.0	6.5	0.002	0.069	31052	2155
AGO	33.0	6.5	0.002	0.069	31052	2155
SET	29.7	10.2	0.003	0.094	31052	2910
OTT	24.3	21.4	0.007	0.147	31052	4549
NOV	18.4	49.1	0.016	0.230	31052	7156
DIC	14.4	85.4	0.028	0.303	31052	9399

BASE (CON BITUMI MODIFICATI)						
G_b (g/cm³)	1.02					
G_g (g/cm³)	2.75					
G_m (g/cm³)	2.426					
P_b	4.75%					
P_{bm}	4.535					
indici V _g , V _b , V _a *						
V_g [%]	84.0					
V_b [%]	11.0					
V_a [%]	5.0					
Calcolo del parametro f1 della legge di fatica dell'Asphalt Institute						
V_b [%]	11.0					
V_a [%]	5.0					
M	-0.014					
C	0.967					
f1	0.400					
Calcolo del modulo elastico						
	Tpav (°C)	Sb (MPa)	B*	R*	Einf (MPa)	E (MPa)
GEN	13.1	102.6	0.034	0.381	32851	12504
FEB	13.7	93.9	0.031	0.366	32851	12039
MAR	15.6	72.0	0.024	0.326	32851	10704
APR	18.8	46.2	0.015	0.264	32851	8688
MAG	23.9	22.7	0.008	0.183	32851	6019
GIU	29.0	11.2	0.004	0.122	32851	4002
LUG	32.2	7.2	0.002	0.092	32851	3037
AGO	32.2	7.2	0.002	0.092	32851	3037
SET	29.0	11.2	0.004	0.122	32851	4002
OTT	23.9	22.7	0.008	0.183	32851	6019
NOV	18.2	50.5	0.017	0.276	32851	9070
DIC	14.3	86.0	0.029	0.353	32851	11584

- Sovrastruttura TIPO 2

USURA DRENANTE						
G_b (g/cm ³)	1.02					
G_g (g/cm ³)	2.85					
G_m (g/cm ³)	2.085					
P_b	5.5%					
P_{bm}	5.213					
Calcolo degli indici V_g, V_b, V_a						
V_g [%]	69.1					
V_b [%]	10.9					
V_a [%]	20.0					
Calcolo del modulo elastico						
	Tpav (°C)	Sb (MPa)	B*	R*	Einf (MPa)	E (MPa)
GEN	13.0	102.8	0.034	0.294	12356	3633
FEB	13.7	93.6	0.031	0.281	12356	3470
MAR	15.7	70.6	0.024	0.244	12356	3013
APR	19.1	44.2	0.015	0.190	12356	2351
MAG	24.5	20.9	0.007	0.124	12356	1529
GIU	29.9	9.9	0.003	0.077	12356	954
LUG	33.3	6.2	0.002	0.056	12356	696
AGO	33.3	6.2	0.002	0.056	12356	696
SET	29.9	9.9	0.003	0.077	12356	954
OTT	24.5	20.9	0.007	0.124	12356	1529
NOV	18.5	48.5	0.016	0.200	12356	2473
DIC	14.4	85.2	0.028	0.268	12356	3313

BINDER (CON BITUMI MODIFICATI)

G_b (g/cm³)	1.02
G_g (g/cm³)	2.75
G_m (g/cm³)	2.409
P_b	5.25%
P_{bm}	4.988

Indici V_g, V_b, V_a

V_g [%]	83.0
V_b [%]	12.0
V_a [%]	5.0

Calcolo del parametro f1 della legge di fatica dell'Asphalt Institute

V_b [%]	12.0
V_a [%]	5.0
M	0.078
C	1.196
f1	0.495

Calcolo del modulo elastico

	Tpav (°C)	Sb (MPa)	B*	R*	Einf (MPa)	E (MPa)
GEN	13.0	102.7	0.034	0.330	31052	10241
FEB	13.7	93.7	0.031	0.316	31052	9814
MAR	15.7	71.0	0.024	0.277	31052	8605
APR	19.0	44.8	0.015	0.220	31052	6822
MAG	24.3	21.4	0.007	0.147	31052	4549
GIU	29.7	10.2	0.003	0.094	31052	2910
LUG	33.0	6.5	0.002	0.069	31052	2155
AGO	33.0	6.5	0.002	0.069	31052	2155
SET	29.7	10.2	0.003	0.094	31052	2910
OTT	24.3	21.4	0.007	0.147	31052	4549
NOV	18.4	49.1	0.016	0.230	31052	7156
DIC	14.4	85.4	0.028	0.303	31052	9399

BASE (CON BITUMI MODIFICATI)						
G_b (g/cm³)	1.02					
G_g (g/cm³)	2.75					
G_m (g/cm³)	2.426					
P_b	4.75%					
P_{bm}	4.535					
indici V _g , V _b , V _a *						
V_g [%]	84.0					
V_b [%]	11.0					
V_a [%]	5.0					
Calcolo del parametro f1 della legge di fatica dell'Asphalt Institute						
V_b [%]	11.0					
V_a [%]	5.0					
M	-0.014					
C	0.967					
f1	0.400					
Calcolo del modulo elastico						
	Tpav (°C)	Sb (MPa)	B*	R*	Einf (MPa)	E (MPa)
GEN	13.1	102.7	0.034	0.381	32851	12505
FEB	13.7	93.9	0.031	0.366	32851	12036
MAR	15.6	71.7	0.024	0.325	32851	10688
APR	18.9	45.8	0.015	0.263	32851	8656
MAG	24.0	22.4	0.007	0.182	32851	5971
GIU	29.2	10.9	0.004	0.120	32851	3950
LUG	32.4	7.0	0.002	0.091	32851	2987
AGO	32.4	7.0	0.002	0.091	32851	2987
SET	29.2	10.9	0.004	0.120	32851	3950
OTT	24.0	22.4	0.007	0.182	32851	5971
NOV	18.2	50.1	0.017	0.275	32851	9041
DIC	14.3	85.8	0.029	0.352	32851	11576