

S.S. n. 434 "TRANSPOLESANA"

Lavori di adeguamento funzionale degli svincoli e delle corsie di accelerazione/decelerazione
dal km 2+500 al km 82+870 - I stralcio

- Svincolo Cà degli Oppi -

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTISTA ing. Marco Meneguzzer	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE ing. Stefano Muffato	R.T.I. di PROGETTAZIONE Mandataria sinergo Sinergo Spa - via Ca' Bembo 152 - 30030 Maerne di Martellago - Venezia - Italy tel+39 041.3642511 - fax+39 041.640481 sinergospa.com - info@sinergospa.com Mandante AZ SRL SOCIETÀ DI INGEGNERIA AZ S.r.l. Consulting & Commercial Engineering Sede Legale: Galleria delle Porte Contarine 4, 35137 Padova Sede Operativa: via Zucchini 61, 44122 Ferrara C.F. e Partita IVA 03243310285 Tel/Fax 0532 769188 info@azec.it - www.azec.it sepi s.r.l. <small>Studi Esecuzione Progetti Ingegneria</small> con sede legale in Trento (TN), Via Fratelli Perini n. 93, c.a.p. 38100 IN <small>SANDRO D'AGOSTINI INGEGNERE</small> con sede in Feltre (BL), Piazzale T. Parmiggiani n. 13/5
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE ing. Marco Meneguzzer		
DEC ing. Giuseppe Militello		
VISTO: RESP. DEL PROCEDIMENTO ing. Umberto Vassallo		
PROTOCOLLO 1626	DATA Maggio 2022	

ELABORATO

PROGETTO STRADALE Relazione di calcolo della pavimentazione

CODICE PROGETTO			NOME FILE			REVISIONE	SCALA	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	CODICE ELAB.					
DPVE01	D	2137	V00	PS00	TRA	RE03	A	-
D								
C								
B								
A	Prima emissione		23/05/2022	E. Turrina	M. Meneguzzer	S. Muffato		
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO		

INDICE

1. PREMESSA	3
2. L'AMBITO DI INTERVENTO	4
3. IL CALCOLO DELLA SOVRASTRUTTURA	5
3.1. IL METODO DI CALCOLO RAZIONALE	5
3.2. LA VERIFICA A FATICA	6
3.3. I PARAMETRI PER LA VERIFICA PROGETTUALE	7
3.3.1. LE CONDIZIONI METEO-CLIMATICHE	7
3.3.2. IL TRAFFICO	9
3.3.3. I MATERIALI	9
4. LA VERIFICA DIMENSIONALE	14
4.1. LA PAVIMENTAZIONE DEL PROGETTO PRELIMINARE	14
4.2. LA PAVIMENTAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO	14

1. PREMESSA

Il presente progetto esecutivo concerne le opere previste nei “Lavori di adeguamento funzionale degli svincoli e delle corsie di accelerazione/decelerazione dal km 2+500 al km 82+870 - I stralcio, Svincolo Ca’ degli Oppi in Oppeano (VR), S.S. n. 434 *Transpolesana*”. L’intervento è finalizzato a perseguire il miglioramento della sicurezza dello svincolo di accesso/recesso nella S.S. 434 “*Transpolesana*” Rovigo – Verona in località Ca’ degli Oppi, Comune di Oppeano (VR), sostituendo l’attuale svincolo ad innesto diretto, attiguo alla struttura cimiteriale, presso la S.P. 21 “di Villafontana”.

L’attuale svincolo collocato a nord della S.S. n. 434, in direzione Verona, risulta realizzato con una bretella bidirezionale avente una geometria stradale pericolosa per molteplici aspetti: è presente una corsia di uscita (decelerazione) con curva a destra stretta, in uscita dalla S.S. 434, in sommità di un dosso, seguita da una corsia di immissione (accelerazione), all’interno di una curva (seppur di grande raggio) della S.S. n. 434, corta e priva di adeguata visibilità. La presenza dell’edificio cimiteriale a nord dello svincolo costituisce limite allo sviluppo dell’intersezione e delle corsie specializzate relative, peraltro ulteriormente costrette in spazi angusti dalla S.P. n. 21, che attraversa in sottopassaggio la “*Transpolesana*” proprio in corrispondenza dell’attuale corsia di uscita dalla Statale.

Al fine di ottimizzare la sicurezza dello svincolo in esame, viene proposta la ricollocazione del medesimo in sede distinta rispetto a quella occupata dall’esistente, anticipando ed allungando le corsie di diversione e immissione e collegando quest’ultime alla S.P. n. 21 mediante una bretella che si innesta in una rotatoria di recente realizzazione.

La presente relazione discute il dimensionamento della pavimentazione del nuovo tronco stradale. La sovrastruttura risulta così definita:

- Strato di usura di 4 cm di conglomerato bituminoso modificato “hard” (voce EPU D.01.024.g);
- Strato di collegamento di 6 cm di conglomerato bituminoso modificato “hard” (voce EPU D.01.017.i);
- Strato di base di 12 (6+6) cm di conglomerato bituminoso modificato “soft” (voce EPU D.01.005.c);
- Strato di sotto-base di 20 cm di misto cementato (voce EPU D.01.003);
- Strato di fondazione di 15 cm di misto granulare stabilizzato (voce EPU D.01.001.a).

come da apposita procedura di calcolo.

2. L'AMBITO DI INTERVENTO

L'intervento si colloca in Comune di Oppeano, frazione Ca degli Oppi, in Provincia di Verona, ad est del centro abitato, in un'area prevalentemente agricola.

La viabilità oggetto di intervento rappresenta un sistema infrastrutturale di collegamento fra la S.S. n. 434 "Transpolesana" in direzione Verona (nord) e la S.P. 21 "di Villafontana" a servizio del centro urbano di Ca' degli Oppi, in Comune di Oppeano (VR).

Le viabilità interessate dall'intervento sono:

- S.S. n. 434 Rovigo - Verona (semicarreggiata nord, direzione Verona)
- S.P. 21 "di Villafontana" (Via Cadalora)
- Via degli Oppi (strada di accesso al cimitero (località Fornello).

In realtà, le nuove opere si connettono solo con la S.S. n. 434, su cui vengono realizzate corsie specializzate di diversione e immissione, e con una rotatoria già esistente sulla S.P. n. 21, di cui costituiscono il quinto braccio. Via degli Oppi si immette sulla medesima rotatoria in posizione contrapposta alla bretella di progetto e non è interessata dai lavori.

Il progetto prevede di ridisegnare lo svincolo sulla "Transpolesana" attuale, ricollocandolo nell'area agricola sita ad est della S.P. n. 21, in posizione opposta al cimitero di Ca' degli Oppi. La rotatoria di recente realizzazione sulla strada provinciale consentirà l'aggancio a tale strada da parte del nuovo svincolo. La corsia di uscita dalla S.S. n. 434 viene così arretrata rispetto all'attuale di circa 355 metri e congruamente allungata (fra tratto di raccordo e decelerazione si raggiungono i 195 metri). La corsia di entrata viene parimenti arretrata (per oltre 270 metri, terminando prima del sovrappasso della S.P. n. 21) e allungata (245 metri sono costituiti da tratto di accelerazione clotoideo e successivo rettilo e raccordo finale). Non è previsto l'innesto diretto di accessi privati in rotatoria o in prossimità della medesima.

Il progetto prevede la realizzazione di nuove pavimentazioni per le corsie specializzate e la bretella di raccordo dello svincolo sulla S.S. n. 434 sino alla rotatoria sulla S.P. n. 21, già esistente.

3. IL CALCOLO DELLA SOVRASTRUTTURA

3.1. IL METODO DI CALCOLO RAZIONALE

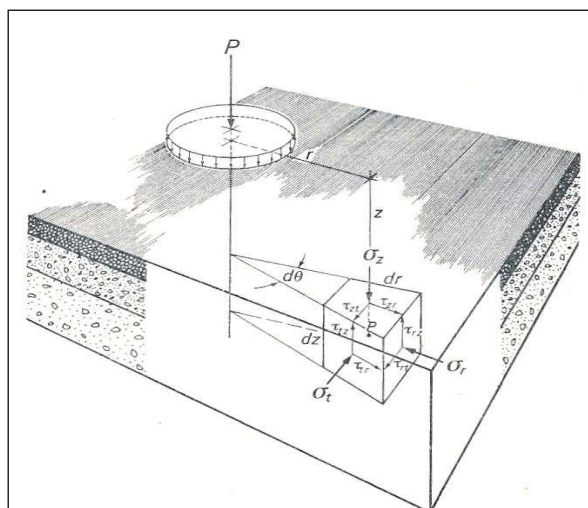
Per addivenire ad una valutazione Della più idonea soluzione progettuale, si è adoperata una procedura la quale prevede l'analisi dello stato tenso-deformativo indotto dai carichi di traffico nella pavimentazione stradale, mediante schematizzazione della sovrastruttura in una sequenza di strati orizzontali sovrapposti, di sviluppo illimitato nel proprio piano e di spessore costante, composti da materiali omogenei, isotropi ed elastici. Fra tali strati possono esistere condizioni di maggiore o minore adesione all'interfaccia, con o senza scorrimenti relativi. La pavimentazione poggia su un sottofondo che è un semispazio indefinito di materiale omogeneo, isotropo ed elastico.

Anche se i materiali presenti nella pavimentazione possono non essere dei solidi con le proprietà ideali innanzi citate, generalmente si rinuncia a schematizzazioni più complesse (ad esempio basate su comportamenti visco-elastici) che, oltre a determinare un elevato onere computazionale, richiedono la conoscenza di parametri di difficile valutazione sperimentale.

Le azioni del traffico vengono schematizzate in due modi distinti: azioni "normali", che rappresentano il carico dell'asse veicolare, applicato su superfici di impronta circolari con area pari a quella dello pneumatico; azioni "tangenziali", che simulano le azioni radenti applicate dai veicoli durante l'applicazione di azioni traenti o frenanti. Nel progetto queste ultime sono state trascurate.

Rispetto ai primi modelli di calcolo delle pavimentazioni, basati su ipotesi di studio molto semplificate, il calcolo elettronico consente di risolvere oggi le situazioni più generali; nulla vieta, pertanto, di progettare o verificare pavimentazioni costituite da un numero illimitato di strati, con materiali dalle caratteristiche fisiche-meccaniche più diversificate e condizioni di sollecitazione differenziate.

Il metodo di calcolo utilizzato nella presente relazione si basa sul modello BISAR, proposto nel 1973 da De Jong – Peutz – Korwagen (Shell Laboratorium di Amsterdam), inteso come evoluzione del programma BISTRO (Bitumen STress in ROad), che traeva le proprie basi teoriche dalla nota teoria di Boussinesq, rivista ed adattata da Burmister prima, Acum-Fox, Peattie-Jones e Jeuffroy-Bachelez poi.



La pavimentazione è schematizzata come multistrato, costituito da materiali a comportamento elastico-lineare espresso dalla Legge di Hook riformulata secondo le analisi di Sneddon-Muky. L'applicazione di sollecitazioni normali/tangenziali sul piano viabile dà luogo ad uno stato tenso-deformativo nei singoli strati di pavimentazione, che può essere determinato – a seguito di complesse elaborazioni matematiche - per ogni elemento infinitesimo di materiale che la compone, fornendo indicazione circa la criticità delle condizioni di esercizio. Tensioni e deformazioni sono da confrontarsi con i valori ammissibili dei corrispondenti parametri relativi ai materiali utilizzati nella sovrastruttura.

Lo schema di studio della pavimentazione è esemplificato nella figura precedente.

3.2. LA VERIFICA A FATICA

L'applicazione del metodo di calcolo precedentemente descritto è necessaria per determinare gli stati tenso-deformativi nella pavimentazione esaminata. Ma non è sufficiente, perché anche se condotta con parametri rappresentativi di carichi dinamici, nulla dice relativamente al comportamento della sovrastruttura a fronte di applicazioni cicliche di carichi veicolari. A tal fine si imposta un'analisi a fatica, basata sulla legge di Miner concernente l'accumulo del danno per sollecitazioni ripetute. Secondo tale legge, poste ε_i le ampiezze di deformazione relative a n_i ripetizioni del carico, posto N_i il numero di cicli che porta alla rottura il materiale nella i -esima condizione di carico, la rottura per fatica degli strati bitumati si ha quando:

$$D = \sum_{i=1 \rightarrow k} n_i/N_i > 1$$

Gli strati bituminosi, per effetto dei ripetuti passaggi veicolari sono sottoposti per flessione a deformazioni orizzontali di trazione, il cui cumulo porta a fessure che compaiono, dapprima a livello microscopico, alla base degli strati legati (ove maggiori sono le ε e quindi sono consentite minori ripetizioni). Col procedere dei passaggi, le fessure si ampliano e si propagano nella massa di conglomerato sino alla superficie, ove assumono la caratteristica configurazione a ragnatela, indicativa della perdita di capacità portante dell'intera sovrastruttura. Tale stato è espresso dal raggiungimento di un valore unitario del coefficiente di danno cumulato D .

Le condizioni di carico possono essere $k = 3$, per 3 stagioni distinte, funzione della temperatura. Il calcolo della durata della pavimentazione è eseguito utilizzando la seguente legge di fatica ε - N :

$$\varepsilon_i = \alpha N_i^{-\beta}$$

(elaborazione legge di Verstraeten) che permette di valutare, nella i -esima condizione di carico, il numero di cicli che porta a rottura il pacchetto bituminoso, se sulla superficie inferiore dello strato di base la deformazione di trazione è ε_i . Tale legge deriva da valutazioni teoriche calibrate mediante verifiche sperimentali. Tale formulazione è ritenuta preferibile a diverse leggi disponibili in letteratura, le quali presentano correlazioni complesse fra grandezze, la cui quantificazione è talora difficile o imprecisa.

Per la verifica a fatica si assume che l'asse standard viaggi nell'anno medio incontrando per x_i giorni la condizione di temperatura T_i ; i passaggi in questa condizione sono proporzionali alla durata percentuale di tale periodo, sicché:

$$\%g_i(T_i) = x_i/365 \quad e \quad n_i = \%g_i N_{tot}$$

La legge di Miner si può scrivere nella forma:

$$\sum_{i=1 \rightarrow 3} (\%g_i N_{tot})/N_i = 1 \quad da \quad cui \quad N_{tot} = (\sum_{i=1 \rightarrow 3} \%g_i/N_i)^{-1}$$

essendo N_{tot} da confrontare con il traffico di progetto.

Per i materiali granulari di fondazione, al fine di evitare la formazione di ormaie sulla pavimentazione, si verifica che deformazione e tensione verticale siano limitate; quest'ultima, in particolare, deve essere non superiore a 0,2-0,4 MPa, in funzione delle proprietà del materiale. E' anche opportuno che non vi siano tensioni di trazione nello strato o che queste, se presenti, alla base della fondazione risultino inferiori al 40-50% della tensione di compressione verticale, ammettendo che siano assorbite dall'attrito lungo la superficie di separazione tra fondazione e sottofondo.

Per materiali di fondazione cementizi la sollecitazione di trazione σ_N che determina la rottura dopo N cicli di carico e scarico, è legata alla sollecitazione di rottura σ_R corrispondente ad una sola applicazione, mediante la relazione:

$$\sigma_N = \sigma_R (1 - H \cdot \log N)$$

essendo $H = 0,03-0,05$.

La verifica a fatica del sottofondo si imposta determinando la massima sollecitazione verticale σ_z da non superare, affinché non si producano, per il ripetersi dei cedimenti plastici dovuti al transito veicolare, ormaie nella sovrastruttura. Si pone, di norma:

$$\sigma_z = 0,006 \cdot E / (1 + 0,7 \log N)$$

3.3. I PARAMETRI PER LA VERIFICA PROGETTUALE

3.3.1. LE CONDIZIONI METEO-CLIMATICHE

Per un corretto studio del comportamento della sovrastruttura stradale a seguito dell'applicazione di carichi veicolari, è necessario conoscere le condizioni meteo-climatiche di esercizio. Infatti, queste possono determinare sia problemi legati alla presenza di gelo nel corpo della pavimentazione, sia specificità di comportamento in relazione alla risposta termica dei conglomerati bituminosi nelle diverse stagioni dell'anno.

Di norma, un parametro rappresentativo delle condizioni meteo-climatiche, è la Temperatura Media Mensile dell'Aria (TMMA) che può essere ricavata dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici (dal 1948) o dai monitoraggi delle sezioni locali ARPA.

Per una stazione termometrica prossima al sito di intervento e sufficientemente caratterizzante delle condizioni climatiche ivi presenti (Ragusa), si hanno le seguenti temperature medie (fonte ISPRA):

MESE	t [°C]	MESE	t [°C]
Gennaio	3,5	Luglio	25,0
Febbraio	6,2	Agosto	23,2
Marzo	9,2	Settembre	20,0
Aprile	13,5	Ottobre	13,5
Maggio	16,8	Novembre	7,9
Giugno	22,1	Dicembre	3,1

Sulla base del TMMA, l'anno può essere suddiviso in 3 periodi stagionali (estivo, primaverile-autunnale, invernale), ad ognuno dei quali si attribuisce una Temperatura Media rappresentativa:

Periodo	Mesi	Tm [°C]	Tp [°C]
Invernale	GEN-FEB-DIC	5,2	5
Primavera/Autunno	MAR-APR-OTT-NOV	14,6	15
Estivo	MAG-GIU-LUG-AGO-SET	23,4	25

dove Tm è la Temperatura media del periodo e Tp la Temperatura di progetto (approssimazione della precedente) utilizzata nel calcolo.

La Temperatura Media Mensile della Pavimentazione (TMMP negli strati bituminosi) può essere valutata attraverso leggi sperimentali (Witczak, Camomilla), in funzione della profondità Z [cm] dal piano viabile e della TMMA:

$$TMMP(Z) = (\alpha + \beta Z) + (\gamma - \delta Z) \cdot TMMA$$

Per l'ambito di intervento si ricavano i seguenti valori stagionali per il dimensionamento della pavimentazione (inverno, primavera/autunno, estate), essendo Ti = TMMP:

$$T_3 = 8 \text{ °C} \quad T_2 = 21 \text{ °C} \quad T_1 = 35 \text{ °C}$$

A ciò va aggiunto il fatto che la risposta dei materiali legati a bitume alle sollecitazioni esterne veicolari (ovvero la resistenza a fatica ed alle deformazioni permanenti) dipende anche dalla frequenza di applicazione dei carichi. A tale proposito è stata ricavata sperimentalmente da Klomp la legge:

$$f \text{ [Hz]} = 0,4 \times V \text{ [Km/h]}$$

che permette di ricondurre gli effetti del traffico a quelli di una sollecitazione sinusoidale (facilmente riproducibile in laboratorio), di frequenza dipendente dalla velocità di transito veicolare.

Va rammentato che il vigente Codice della Strada fissa per le strade extraurbane di tipo C (cui può assimilarsi la nuova bretella) una velocità massima di percorrenza di 90 km/h (art. 142), da abbattere fino a 80 o 70 km/h fuori dei centri abitati per "autoveicoli destinati al trasporto di cose o ad altri usi", di massa complessiva a pieno carico rispettivamente superiore a 3,5 e 12 t.

Le condizioni di marcia attese per i veicoli pesanti (che influiscono maggiormente sul degrado della sovrastruttura), in ragione della geometria, portano ad ipotizzare tuttavia velocità di deflusso di circa 50 km/h, in corrispondenza della quale determinare la frequenza di sollecitazione, e quantificare i parametri meccanici di progetto:

$$V = 50 \text{ Km/h} \quad \Rightarrow \quad f = 20 \text{ Hz.}$$

Considerate le condizioni di esercizio della strada in esame, si ipotizza che la velocità V sia mantenuta costante per il 100% del tempo di percorrenza. Ne segue che, combinando tale velocità con le ipotesi formulate sulle condizioni climatiche (3 stagioni), risultino le seguenti condizioni di calcolo (denominate ai):

$$a_1 (20 \text{ Hz}, T_1 = 35^\circ\text{C})$$

$$a_2 (20 \text{ Hz}, T_2 = 21^\circ\text{C})$$

$$a_3 (20 \text{ Hz}, T_3 = 8^\circ\text{C})$$

3.3.2. IL TRAFFICO

Il traffico veicolare costituisce parametro fondamentale per la verifica di una pavimentazione stradale esistente o il progetto di una nuova sovrastruttura. Numerosi sono i parametri e le metodologie secondo i quali il traffico può essere caratterizzato.

Nel caso in esame, non sono disponibili dati sul traffico commerciale complessivo atteso nella vita utile ventennale. Pertanto, per la verifica col metodo razionale si utilizzerà un carico-asse da 12 t, che rappresenta il carico reale maggiormente critico possibile, e si procederà per via comparativa rispetto al progetto preliminare.

Per quanto riguarda le modalità di trasferimento del carico veicolare sulla pavimentazione stradale, che è necessario conoscere nell'applicazione del metodo razionale, l'impronta del singolo pneumatico è assimilata ad una forma circolare con raggio uguale a 15,45 cm, perché con la massima pressione normale consentita dal Codice della Strada (0,8 MPa) l'area dell'impronta è data da $Q_{ruota}/0,8 = 750 \text{ cm}^2$.

3.3.3. I MATERIALI

3.3.3.1. Il sottofondo

Usualmente, si pone il Modulo dinamico pari a (Ferrari-Giannini):

$$E_d \text{ [MPa]} = 2 \text{ Md}$$

Nel progetto esecutivo si assume che il Modulo di deformazione del sottofondo valga 50 MPa. Il Modulo elastico vale conseguentemente 100 MPa. Il coefficiente di Poisson è stimato in $\nu = 0,30$.

3.3.3.2. *La fondazione*

Per la fondazione granulare (non legata), sulla base della relazione di Dormon e Klomp, si ha:

$$E_f = 0,206 * h^{0,45} * E_{sf}$$

che correla le proprietà meccaniche della fondazione con il suo spessore (in mm) e la resistenza del sottofondo. La relazione vale per moduli (statici quanto dinamici) di fondazione compresi fra 2 e 4 volte quelli del sottofondo. Per le ipotesi di progetto preliminare (spessore dello strato 350 mm e portanza del sottofondo come da 3.3.3.1) risulta un modulo pari a 290 MPa. Il coefficiente di Poisson per materiali granulari di fondazione può essere stimato in $\nu = 0,40$.

Nel caso del progetto esecutivo, prevedendosi un doppio strato di base, si assottiglia lo strato granulare di fondazione (150 mm); il minor spessore dello strato porta il Modulo dinamico a 197 MPa; non cambia il coefficiente di Poisson.

3.3.3.3. *La sotto-base*

Per lo strato di sotto-base in misto cementato previsto nel progetto esecutivo, si assume un Modulo dinamico di 3.000 MPa finché integro e di 750 MPa se fessurato (vd. Ferrari-Giannini) a seguito delle sollecitazioni ripetute. Il coefficiente di Poisson può essere stimato in $\nu = 0,20$.

3.3.3.4. *Base, binder in conglomerato bituminoso tradizionale*

Le caratteristiche meccaniche dei materiali bituminosi impiegati nella sovrastruttura (da conoscere per il calcolo della medesima) sono manifestamente dipendenti, oltre che da proprietà intrinseche degli stessi (coesione, attrito interno, dosaggio del bitume, assortimento granulometrico dell'inerte), anche da agenti esogeni, quali le condizioni meteo-climatiche e le modalità di sollecitazione, che influiscono sulle proprietà interne delle miscele. In tal modo, risulta che le caratteristiche termiche del territorio interessato dall'opera viaria e la frequenza di applicazione dei carichi determinino in modo specifico il comportamento dei conglomerati bituminosi dei 3 strati superiori e, di conseguenza, la durabilità nel tempo dell'opera progettata.

Nota la temperatura media della pavimentazione nei singoli strati, è possibile perfezionare l'attribuzione dei parametri meccanici di calcolo ai materiali costituenti (Modulo dinamico e coefficiente di Poisson), nel corso dei diversi periodi stagionali (cfr. in letteratura Sauterey e Bonnot, Battiato et al.; cfr. dati sperimentali 2005-2021, Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale dell'Università di Padova, determinati mediante procedura IT-CY ai sensi di EN 12697-26).

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

S.S. n.434 "TRANSPOLESANA" LAVORI DI ADEGUAMENTO FUNZIONALE DEGLI SVINCOLI E DELLE CORSIE
DI ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE DAL KM 2+500 AL KM 82+870 – 1° STRALCIO
SVINCOLO CA' DEGLI OPPI, OPPEANO (VR)
PROGETTO DEFINITIVO



Di seguito si indicano le specifiche di calcolo (Modulo elastico dinamico e coefficiente di Poisson) usate nella verifica del progetto, valide per conglomerati bituminosi tradizionali, realizzati con bitume normale semisolido.

Condizione	Strato	E [MPa]	v
T ₃	Binder	10.500	0,30
	Base	9.000	0,26
T ₂	Binder	6.000	0,34
	Base	4.500	0,29
T ₁	Binder	3.000	0,35
	Base	2.000	0,34

3.3.3.5. Miscele bituminose modificate per base, binder e usura

Il progetto preliminare prevede che lo strato di usura sia realizzato in conglomerato bituminoso drenante. Tale opzione non viene mantenuta nel progetto esecutivo, dal momento che lo svincolo si colloca in area agricola e una pavimentazione porosa sarebbe facilmente esposta ad intasamento con residui terrosi o vegetali di materiali e prodotti trasportati da veicoli commerciali e mezzi d'opera. Inoltre, lo strato drenante apporta un limitato contributo strutturale ed il dimensionamento del progetto preliminare richiede una struttura potenziata, a causa delle elevate tensioni di esercizio nei vari strati di pavimentazione.

Il progetto preliminare prevede che lo strato superficiale di usura sia realizzato con conglomerato di bitume (modificato) "hard". Così lo strato di collegamento, per una più efficace distribuzione dei carichi sulla sovrastruttura. Per lo strato di base, al fine di ridurre la rigidità complessiva della pavimentazione e le tensioni si adopera un conglomerato bituminoso modificato "soft".

Condizione	Strato	E [MPa]	v
T ₃	Usura drenante	12.000	0,35
T ₂	Usura drenante	8.000	0,41
T ₁	Usura drenante	4.000	0,41
T ₃	Usura c.b.m. hard	11.000	0,34
T ₂	Usura c.b.m. hard	8.000	0,39
T ₁	Usura c.b.m. hard	4.500	0,32
T ₃	Binder c.b.m. hard	12.000	0,31
T ₂	Binder c.b.m. hard	10.000	0,35
T ₁	Binder c.b.m. hard	6.000	0,32
T ₃	Base c.b.m. soft	9.000	0,29
T ₂	Base c.b.m. soft	6.000	0,30
T ₁	Base c.b.m. soft	4.000	0,35

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

S.S. n.434 "TRANSPOLESANA" LAVORI DI ADEGUAMENTO FUNZIONALE DEGLI SVINCOLI E DELLE CORSIE
DI ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE DAL KM 2+500 AL KM 82+870 – 1° STRALCIO
SVINCOLO CA' DEGLI OPPI, OPPEANO (VR)
PROGETTO DEFINITIVO



Le proprietà meccaniche di tali materiale sono rinvenibili in letteratura o sono desumibili da prove condotte presso l'Università di Padova negli ultimi anni. Valgono le ipotesi sopra riportate, che evidenziano E e v variabili con temperatura e frequenza.

4. LA VERIFICA DIMENSIONALE

4.1. LA PAVIMENTAZIONE DEL PROGETTO PRELIMINARE

L'applicazione del metodo di calcolo sopra descritto e della legge di fatica prima introdotta porta, per la pavimentazione di progetto preliminare, ai risultati di seguito indicati.

Posto:

σ_{x-y} [daN/cm²] = tensioni di trazione alla base dei singoli strati, in corrispondenza dell'asse della singola ruota;

σ_z [daN/cm²] = tensioni di compressione in sommità dei singoli strati, in corrispondenza dell'asse della singola ruota;

u_z [cm] = cedimento in sommità della pavimentazione;

si hanno i risultati di seguito riportati.

Parametro/stagione	Inverno	Primavera/Autunno	Estate
<i>Deflessione superficiale (uz)</i>	0,034 cm	0,041 cm	0,052 cm
<i>$\sigma_x - \sigma_y$ a - 22 cm (sotto la base)</i>	+12,2 daN/cm ²	+10,1 daN/cm ²	+8,15 daN/cm ²
<i>σ_z a -22 cm (sommità fondazione)</i>	-0,59 daN/cm ²	-0,87 daN/cm ²	-1,41 daN/cm ²
<i>$\sigma_x - \sigma_y$ a - 57 cm (sotto la fondazione)</i>	+0,11 daN/cm ²	+0,18 daN/cm ²	+0,33 daN/cm ²
<i>σ_z a -57 cm (sommità sottofondo)</i>	-0,27 daN/cm ²	-0,36 daN/cm ²	-0,50 daN/cm ²

N.B. Segno + per trazione, segno - per compressione.

Dall'analisi condotta si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. la deformazione superficiale dello strato di usura nella stagione più calda è superiore agli 0,050 cm considerati limite per la funzionalità dello strato;
2. le tensioni nei conglomerati bituminosi sono superiori alla resistenza del materiale (indicativamente si può attribuire a un conglomerato bituminoso per strato di base una resistenza a trazione di 0,6 MPa), anche del 100%;
- 3 le tensioni in sommità e alla base del misto granulare sono accettabili, come quelle sul sottofondo.

La verifica a fatica non viene eseguita, perché le tensioni negli strati bituminosi evidenziano la rottura degli strati già alla singola applicazione di carico, essendo le tensioni di trazione fra il 35 e il 100% superiori alla resistenza del materiale.

4.2. LA PAVIMENTAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO

La soluzione infine adottata nel progetto esecutivo si caratterizza per le seguenti prestazioni:

Parametro/stagione	Inverno	Primavera/Autunno	Estate
<i>Deflessione superficiale (uz)</i>	0,032 cm	0,035 cm	0,040 cm
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 22 cm (sotto la base)	+10,9 daN/cm ²	+9,25 daN/cm ²	+8,35 daN/cm ²
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 42 cm (sotto la sottobase)	+2,05 daN/cm ²	+2,51 daN/cm ²	+3,30 daN/cm ²
σ_z a -42 cm (sommità fondazione)	-0,37 daN/cm ²	-0,43 daN/cm ²	+0,54 daN/cm ²
σ_z a -57 cm (sommità sottofondo)	-0,25 daN/cm ²	-0,29 daN/cm ²	-0,35 daN/cm ²

N.B. Segno + per trazione, segno - per compressione.

Dall'analisi condotta si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. la deformazione superficiale dello strato di usura è sempre inferiore agli 0,050 cm considerati limite per la funzionalità dello strato;
2. le tensioni nei conglomerati bituminosi sono inferiori alla resistenza del materiale, confezionato con bitume modificato (indicativamente si può attribuire a un conglomerato bituminoso modificato hard una resistenza a trazione non inferiore a 1,25 MPa);
- 3 le tensioni nel misto cementato sono compatibili con la resistenza del materiale;
- 4 le tensioni in sommità e alla base del misto granulare sono accettabili, come quelle sul sottofondo.

La verifica a fatica evidenzia quanto segue:

Stagione	Giorni	%g _i	10 ⁻⁶ ε _i	10 ⁺⁶ N _i	10 ⁻⁶ %g / N _i
T ₃ = 8 °C	90	0,24657	90,9	21,803	0,01131
T ₂ = 21 °C	122	0,33425	116,8	7,468	0,04476
T ₁ = 35 °C	153	0,41918	156,8	2,121	0,19764
	365	1,00000			0,25371
					1/N _{tot}

I carichi ammissibili, calibrati sul comportamento a fatica dei conglomerati bituminosi, sono 3.941.500 applicazioni di carichi-asse da 12 t. Per garantire al misto cementato una pari durabilità sarà necessario confezionare una miscela con resistenza a trazione indiretta non inferiore a 0,45 MPa (eventualmente con l'ausilio di microfibre). Nell'eventualità tale requisito non fosse raggiunto, la vita utile sarebbe proporzionalmente ridotta in relazione alla resistenza del materiale e, comunque, a materiale fessurato, la pavimentazione possiederebbe una resistenza residua, lavorando sottobase e fondazione come materiali granulari.

La fondazione soddisfa la verifica a fatica. Così il sottofondo, al quale si richiederebbe una tensione fino a 3 volte superiore a quella di calcolo (0, 11 MPa) per determinare formazione di cedimenti plastici.