

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA

Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza


PROGETTO ESECUTIVO

SL - SOTTOVIA



SL07 - PROLUNGAMENTO SOTTOVIA AL km 27+817

GENERALE


RELAZIONE TECNICA SULLE PAVIMENTAZIONI STRADALI


GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE  Ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Maggio 2021	Consorzio Iricav Due ing. Paolo Carmona Data: Maggio 2021			


COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 2	E	I 2	R H	S L 0 7 0 0	0 0 1	A	- - - D I - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	Coding	21/05/21	C.Pinti	21/05/21	P.Luciani	21/05/21	 Giuseppefabrizio Coppa

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RHSL0700001A.DOCX
 Progetto cofinanziato dalla Unione Europea		Cod. origine:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHSL0700001 A

Sommario

1	PREMESSA	3
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	3
2.1	METODO AASHTO.....	4
2.1.1	VALUTAZIONE DEL TRAFFICO VEICOLARE.....	5
2.1.2	INDICE STRUTTURALE (O STRUCTURAL NUMBER) SN DELLA PAVIMENTAZIONE	7
2.1.3	AFFIDABILITÀ PERCENTUALE R1 E FATTORE DI AFFIDABILITÀ ZR	8
2.1.4	PORTANZA DEL SOTTOFONDO	8
2.1.5	NUMERO MASSIMO DI PASSAGGI DI ASSI EQUIVALENTI DA 8,2 TON.	9
2.1.6	FATTORE DI SICUREZZA A FATICA FS.....	9
3	PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO	10
3.1	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE	11

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHSL0700001 A

1 PREMESSA

Il presente documento si riferisce all'intero 1° Lotto Funzionale Verona-Bivio Vicenza ricompreso tra le progressive pk. 0+000 e pk. 44+250.

Nell'ambito del progetto esecutivo della linea AC Verona-Padova, è previsto il riassetto del reticolo viario limitrofo alla ferrovia attraverso la realizzazione di nuove viabilità o l'adeguamento di quelle esistenti.

Le opere previste, sottovia e cavalcaferrovia, si configurano o come prolungamento di opere esistenti, nei tratti in cui la nuova linea AC si sviluppa in affiancamento alla linea storica, o come opere di nuova realizzazione secondo le categorie previste dalle norme cogenti per la progettazione di nuove strade ed adeguamento di quelle esistenti.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione è incentrata sulla progettazione della WBS denominata SL07 (prolungamento sottovia al km 27+817), in particolare sul dimensionamento del pacchetto della pavimentazione stradale previsto per l'intervento di progetto.

Il calcolo è finalizzato a verificare che le pavimentazioni abbiano una resistenza a fatica tale da rimanere in efficienza durante tutta la vita utile prevista e che se ne debba prevedere il rifacimento integrale solo al termine di quest'ultima. Le verifiche sono state eseguite con la metodologia semi-empirica dell'AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHSL0700001	A

2.1 METODO AASHTO



Il metodo AASHTO permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8.2 t ($N_{8,2max}$ [ESALS]) che una pavimentazione di assegnate caratteristiche meccaniche riesce a sopportare prima di raggiungere un grado di ammaloramento, cioè un livello di funzionalità accettabile, in relazione alla "Affidabilità" richiesta.

Il numero ricavato è confrontato con quello dei passaggi di assi standard alla fine della "Vita utile" ($N_{8,2}$), calcolati attraverso lo spettro di traffico indicato nel Catalogo delle Pavimentazioni Stradali CNR.

È opportuno osservare che il rifacimento dello strato di usura dopo un certo numero di anni è da considerarsi come un intervento manutentivo ordinario e prevedibile al fine di assicurare le necessarie caratteristiche di aderenza nelle pavimentazioni flessibili e semi-rigide.

L'obiettivo si sostanzia attraverso la definizione dei seguenti parametri:

- La "**Vita utile**", intesa come il numero di anni durante il quale la pavimentazione deve assicurare, attraverso normali operazioni di manutenzione, condizioni di funzionalità superiori allo stato limite;
- Lo "**stato limite**", cioè il livello minimo di funzionalità della sovrastruttura ritenuto accettabile, superato il quale è necessario intervenire. Nel metodo empirico si fa riferimento al PSI (Present Serviceability Index);
- L'"**affidabilità**", cioè la probabilità che la sovrastruttura sia in grado di assicurare, con normali operazioni di manutenzione, condizioni di circolazione superiori allo stato limite per l'intera durata della vita utile.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHSL0700001	A

2.1.1 VALUTAZIONE DEL TRAFFICO VEICOLARE

Il numero di passaggi cumulati di veicoli commerciali alla fine della Vita utile è fornito dalla seguente espressione:

$$T^N = N_{vca} \cdot \frac{(1 + R)^N - 1}{R}$$

Dove:

- N = vita utile della sovrastruttura espressa in anni;
- R = tasso di incremento annuo del traffico commerciale;
- N_{vca} = numero dei passaggi di veicoli commerciali che si prevede transiterà durante il primo anno successivo all'apertura della strada, ed è definito da:

$$N_{vca} = TGM_{tot} \cdot p_c \cdot p_{sm} \cdot p_{corsia} \cdot d \cdot gg_{comm}$$

in cui:

- TGM_{tot} il traffico giornaliero medio TGM in veicoli/giorno, che transita o si presume che transiterà nell'infrastruttura durante il primo anno di vita utile;
- p_c = percentuale di veicoli commerciali di peso non inferiore a 3 ton sul traffico totale;
- p_{sm} = aliquota di traffico nella direzione più carica;
- p_{corsia} = percentuale dei veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale;
- d = coefficiente di dispersione delle traiettorie;
- gg_{comm} = numero di giorni commerciali per anno.

Noto il numero dei veicoli commerciali transitanti sulla corsia più lenta alla fine della vita utile, il calcolo del numero di assi standard equivalenti è stato eseguito ricorrendo ai coefficienti di equivalenza definiti da AASHTO e agli spettri di traffico suggeriti nel Catalogo delle Pavimentazioni Stradali:

Tipologie di veicoli commerciali		Numero totale assi	Peso assi (kN)												
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
1	Autocarri leggeri	2	1	1											
2	Autocarri leggeri	2		1	1										
3	Autocarri medi e pesanti	2				1				1					
4	Autocarri medi e pesanti	2					1							1	
5	Autocarri pesanti	3				1			2						
6	Autocarri pesanti	3						1				2			
7	Autotreni e autoarticolati	4				1				2	1				
8	Autotreni e autoarticolati	4						1				3			
9	Autotreni e autoarticolati	5				1				4					
10	Autotreni e autoarticolati	5						1			2	2			
11	Autotreni e autoarticolati	5				1				3		1			
12	Autotreni e autoarticolati	5						1			3		1		
13	Mezzi d'opera	5					1							1	3
14	Autobus	2				1				1					
15	Autobus	2						1				1			
16	Autobus	2					1			1					

Figura 1: veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse (Catalogo delle Pavimentazioni)

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2RHSL0700001	A

Spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada																		
Tipo di strada		Cat. strada	Tipo di veicolo															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Autostrade extraurbane	AE	12,2	0	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	0	0	12,2
2	Autostrade urbane	AU	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
3	Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	B	0	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	0,5	0	0	10,5
4	Strade extraurbane secondarie ordinarie	C	0	0	58,8	29,4	0	5,9	0	2,8	0	0	0	0	0,2	0	0	2,9
5	Strade extraurbane secondarie turistiche	FE	24,5	0	40,8	16,3	0	4,15	0	2	0	0	0	0	0,05	0	0	12,2
6	Strade urbane di scorrimento	D	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
7	Strade urbane di quartiere e locali	E	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
	Strade urbane locali	FU	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
8	Corsie preferenziali	PR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	53	0

Figura 2: Tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada (Catalogo Pavimentazioni CNR)

In definitiva, si pone:

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

in cui n_a è il numero medio di assi per veicolo commerciale; C_{SN} un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, di peso P_i e tipologia T_i , e l'asse singolo standard da 8,2 ton, ed è definito dalla seguente espressione:

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



Con:

$$A = \left\{ 4.79 \cdot [\log(18 + 1) - \log(0.225 \cdot P_i + T_i)] + 4.33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*} \right\}$$

$$G = \log \frac{PSI_i - PSI_f}{2.7}$$

$$B_i = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (0.225 \cdot P_i + T_i)^{3.23}}{\left(\frac{SN}{2.54} + 1\right)^{5.19} \cdot T_i^{3.23}}$$

- PSI_i = Present Serviceability Index all'apertura della strada, assunto pari a 4.2 per tenere conto delle inevitabili imperfezioni costruttive;
- PSI_f = Present Serviceability Index al termine della vita utile, assunto in funzione del tipo di strada e scelto in base alle indicazioni del Catalogo delle Pavimentazioni CNR;
- SN = Indice Strutturale relativo alla sovrastruttura, meglio definito nel seguito.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2RHSL0700001	A

	Tipo di strada	Cat. strada	Affidabilità	PSI
1	Autostrade extraurbane	AE	90%	3,00
2	Autostrade urbane	AU	95%	3,00
3	Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	B	90%	2,50
4	Strade extraurbane secondarie ordinarie	C	85%	2,50
5	Strade extraurbane secondarie turistiche	FE	80%	2,50
6	Strade urbane di scorrimento	D	95%	2,50
7	Strade urbane di quartiere e locali	E	90%	2,00
	Strade urbane locali	FU	90%	2,00
8	Corsie preferenziali	PR	95%	2,50

Figura 3: valori di affidabilità e PSI

2.1.2 INDICE STRUTTURALE (O STRUCTURAL NUMBER) SN DELLA PAVIMENTAZIONE

Lo “**Structural Number**” SN è un parametro che tiene conto della resistenza strutturale della pavimentazione. Esso è funzione degli spessori degli strati s_i , della resistenza dei materiali impiegati, rappresentata per mezzo dei coefficienti strutturali di strato a_i , e della loro sensibilità all’acqua rappresentata attraverso i coefficienti di drenaggio m_i .



L’espressione analitica dello Structural Number è:

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

dove:

- i = numero degli strati costituenti la sovrastruttura stradale;
- a_i = coefficiente che esprime la capacità relativa dei materiali impiegati nei vari strati della pavimentazione a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura. Tali coefficienti sono funzione della tipologia e relative proprietà del materiale.
- s_i = spessore dello strato i -esimo della sovrastruttura in pollici (inch);
- m_i = coefficiente funzione della qualità del drenaggio e della percentuale di tempo durante il quale la pavimentazione è esposta a livelli di umidità prossimi alla saturazione. Siccome l’effetto che l’acqua ha sui materiali legati è praticamente nullo si pone $m=1$.

Nello specifico i coefficienti strutturali relativi agli strati di usura (a_1) e di base (a_3) si ricavano direttamente dai monogrammi presenti sull’*AASHTO Guide* in funzione della stabilità Marshall scelta per i rispettivi strati (si considera per la stabilità Marshall a 75 colpi i valori indicati nel Catalogo delle Pavimentazioni stradali CNR). Il valore del coefficiente relativo allo strato di collegamento (a_2) si ricava per interpolazione lineare dei parametri a_1 e a_3 , ricavati sempre dall’*AASHTO Guide*, in funzione, ovviamente, del valore della stabilità Marshall relativa allo strato di collegamento (binder). Infine, il coefficiente riguardante lo strato di fondazione a_4 in misto granulare si ricava sempre dall’*AASHTO Guide* in funzione del CBR della fondazione.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHSL0700001	A

Stabilità Marshall			
Strato	S75 (kg)	S50 (kg)	S50 (lb)
<i>usura</i>	1100	916.67	2016.67
<i>binder</i>	1000	833.33	1833.33
<i>base</i>	800	666.67	1466.67

Il metodo AASHTO utilizza un valore della stabilità Marshall a 50 colpi espresso in libbre. Di seguito l'espressione di conversione dalla stabilità a 75 colpi, espressa in kg, alla stabilità Marshall a 50 colpi espressa in libbre:

$$S50(lb) = \frac{S75(kg)}{1.2} \cdot 2.2$$

2.1.3 AFFIDABILITÀ PERCENTUALE R1 E FATTORE DI AFFIDABILITÀ Z_r

Per "Affidabilità" s'intende la probabilità che la sovrastruttura sia in grado di assicurare, con normali operazioni di manutenzione, condizioni di circolazione superiori allo stato limite per l'intera durata della vita utile. Nei casi in esame, l'affidabilità percentuale R1 è stata ricavata dalla seguente tabella, tratta dal Catalogo delle Pavimentazioni CNR:

Fattore di affidabilità Z _r				
R ₁	80%	85%	90%	95%
Z _r	-0.841	-1.037	-1.282	-1.645



2.1.4 PORTANZA DEL SOTTOFONDO

La "portanza" di un terreno è la sua capacità di sopportare i carichi senza che si verifichino eccessive deformazioni, che risultano essere di tipo elasto - plastico - viscoso.

Il parametro d'interesse da impiegare nel calcolo della pavimentazione con il metodo empirico è il modulo resiliente M_R.

In linea con le indicazioni del *Capitolato Generale Tecnico Di Appalto Delle Opere Civili - Parte II - Sezione 5*, la superficie costituente il piano di posa della sovrastruttura stradale, sia in trincea che in rilevato, sarà realizzata mediante formazione di uno strato di terra fortemente compattato (supercompattato) di spessore non inferiore a 30 cm (spessore finito). Il modulo di deformabilità M_d di tale strato non dovrà essere inferiore ad 80 MPa. Da tale valore è possibile ricavare il modulo resiliente per mezzo della seguente relazione:

$$M_R = 2 \cdot M_d (MPa) = 160 MPa$$

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHSL0700001	A

2.1.5 NUMERO MASSIMO DI PASSAGGI DI ASSI EQUIVALENTI DA 8,2 TON.

Il numero massimo di passaggi di assi equivalenti che la pavimentazione può sopportare ($N_{8,2max}$) è ricavabile dalla seguente espressione:

$$\log(N_{8,2max}) = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(M_R) - 8.07$$



essendo:

- ΔPSI = differenza tra l'indice di funzionalità della pavimentazione e al termine della vita utile;
- S_0 = deviazione standard relativa all'aleatorietà delle previsioni di traffico e delle prestazioni della pavimentazione, assunta pari a 0.45;
- M_R = modulo resiliente del sottofondo, espresso in psi;
- SN = indice strutturale della pavimentazione.

2.1.6 FATTORE DI SICUREZZA A FATICA FS

I risultati delle verifiche sono espressi attraverso il "fattore di sicurezza a fatica FS", dato dal rapporto tra il numero massimo ($N_{8,2max}$) di passaggi di assi equivalenti sopportabili dalla struttura, nell'arco della vita utile, e il numero di assi effettivamente transitanti sulla pavimentazione $N_{8,2}$ nel medesimo intervallo temporale:

$$FS = \frac{N_{8,2max}}{N_{8,2}}$$

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHSL0700001	A

3 PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO

In mancanza di dati di traffico di dettaglio, per la portata veicolare al termine della vita utile è stata presa a riferimento IL 25% della portata di servizio (per corsia) corrispondente al LoS richiesto per una strada di tipo F urbana indicata nel D.M. 05/11/2001, pari a $PS = 800$ autov. equiv/h x corsia.

La portata oraria effettiva è stata ricavata utilizzando una percentuale di veicoli pesanti $p=15.00\%$ e un coefficiente di equivalenza tra autoveicoli e veicoli commerciali pari a $n=2.5$ (ambiente di localizzazione della strada ondulato). La portata nell'ora di punta al termine della vita utile è pertanto:

$$V = \frac{2PS}{[1 + p(n - 1)]} = \frac{2 \times 800}{[1 + 0.15 \times (2.5 - 1)]} \cong 1306 \text{ veic/h}$$

Il TGM a fine vita utile si ricava invertendo la relazione tra questo e la portata oraria nell'ora di punta:

$$V = \frac{c \times TGM}{phf} \text{ (veic/h)}$$

in cui c è il fattore di conversione da TGM a V ($c = 0.08$) e phf il fattore dell'ora di punta ($phf = 0.85$). Risulta:

$$TGM_{fin} = 13\ 876 \text{ veic/giorno}$$



L'analisi consisterà nel verificare che, al termine della vita utile della pavimentazione (20 anni), con la percentuale di veicoli pesanti ipotizzata (7.5%), e lo spettro di traffico previsto per una strada di tipo F urbana (Catalogo delle pavimentazioni CNR) risulti $F_s > 1$ per un $TGM_{fin} = 13\ 876$ veic/giorno.

Per l'intervento in questione è stata scelta una pavimentazione flessibile avente spessore totale pari a 45 cm così costituita:

- usura in conglomerato bituminoso chiuso di spessore pari a 3 cm.
- binder in conglomerato bituminoso semichiuso di spessore pari a 7 cm.
- fondazione in misto granulare frantumato stabilizzato di spessore pari a 20 cm.



Figura 4: pavimentazione di progetto



GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHSL0700001	A

3.1 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

Di seguito, sotto forma tabellare, sono riportate le analisi di verifica:

DATI DI TRAFFICO	
Categoria di strada	FU
TGM attuale	7 683
Numero giorni commerciali per settimana	6
Numero settimane commerciali per anno	52
Aliquota di traffico per direzione più carica	50%
Percentuale veicoli commerciali	7.50%
Aliquota veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale	60%
Coefficiente di dispersione delle traiettorie	0.80
Numero medio di assi per veicolo commerciale	2
Tasso di crescita traffico durante la vita utile	3.00%
Vita utile (anni)	20
TGM al termine della vita utile	13 876

Legenda per l'attribuzione della categoria di strada	
AE	Autostrade extraurbane
AU	Autostrade urbane
B	Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico
C	Strade extraurbane secondarie ordinarie
FE	Strade extraurbane secondarie turistiche
D	Strade urbane di scorrimento
E	Strade urbane di quartiere e locali
FU	Strade urbane locali
PR	Corsie preferenziali

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2RHSL0700001	A

Strada tipo		FU
Grado di affidabilità	Reliability	90%
	$Z_R \times S_0$	-0.5769
Decadimento struttura	PSI _{iniz}	4.5
	PSI _{min}	2.8
Caratteristiche strutturali degli strati costituenti la pavimentazione		
Strati		
Usura in conglomerato bituminoso chiuso	a _i	0.43
	spessore cm.	3
	coeff. Drenaggio	1.00
	a _i × s × d (in)	0.508
Binder in conglomerato bituminoso semi aperto	a _i	0.40
	spessore cm.	7
	coeff. Drenaggio	1.00
	a _i × s × d (in)	1.102
Base in conglomerato bituminoso aperto	a _i	0.28
	spessore cm.	0
	coeff. Drenaggio	1.00
	a _i × s × d (in)	0.000
Fondazione in misto granulare stabilizzato	a _i	0.14
	spessore cm.	20
	coeff. Drenaggio	1.00
	a _i × s × d (in)	1.102
Spessore totale pavimentazione	cm.	30.00
SN	inch	2.713
Sottofondo		
M _D	MPa	80
CBR	%	16
M _R	psi	15067
VERIFICHE		
W₈₀	Traffico di progetto	878 864
	Traffico massimo ammissibile	1 130 916
	Verifica	OK
Coefficiente di sicurezza FS = $N_{8.2max} / N_{8.2}$		1.29
PSI a termine vita utile		3.37
Tempo per raggiungere il PSI _{min}		21