

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA**  
**Lotto funzionale Brescia-Verona**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA18**

**FABBRICATO PT BRESCIA EST - PK 110+300**

**RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONI STRADALI E DI PIAZZALE**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b>  Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Tarozza)  29 MAG 2020 Data: _____	       Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 2	E	E 2	C L	F A 1 8 0 0	0 0 1	A

PROGETTAZIONE							IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data		
A	Emissione	L. Forelli	26/06/19	C. Porelli	26/06/19	26/06/19	Integrated Design srl Ing. Carlo Porelli	
B							Scritto Ordine Ingegneri di Bologna n. 1985/A	
C							 	

CIG. 751447334A File: IN0R12EE2CLFA1800001A1985/A



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

Stampato dal Service di plottaggio ITALFERR S.p.A. ALBA S.r.l.

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
12

Codifica Documento  
E E2 CL FA18 00 001

Rev.  
A

Foglio  
2 di 12

## INDICE

1. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	3
2. RELAZIONE GENERALE .....	3
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
4. MATERIALI .....	3
5. DESCRIZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI .....	4
6. DESCRIZIONE DEL METODO DI VERIFICA .....	5
7. VERIFICA DI DETTAGLIO .....	10

**1. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

codifica

TITOLO ELABORATO

INOR	12	E	E2	P	A	FA	18	0	5	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Planimetria generale e sezione con sistemazioni esterne
INOR	12	E	E2	P	A	FA	18	0	5	002	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Planimetria rete fognaria
INOR	12	E	E2	P	A	FA	18	0	5	003	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Planimetria polifore
INOR	12	E	E2	P	A	FA	18	0	5	004	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Planimetria tracciamento - Posizionamento piazzale, fabbricato,
INOR	12	E	E2	B	Z	FA	18	0	0	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Particolari elementi costitutivi del piazzale e della strada di accesso
INOR	12	E	E2	B	Z	FA	18	0	5	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Pozzetti polifore - Carpenteria, armatura e particolari 1 di 3
INOR	12	E	E2	B	C	FA	18	0	5	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Pozzetti polifore - Carpenteria, armatura e particolari 2 di 3
INOR	12	E	E2	B	C	FA	18	0	5	002	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Pozzetti polifore - Carpenteria, armatura e particolari 3 di 3
INOR	12	E	E2	B	Z	FA	18	0	5	002	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Cannello d'Ingresso e recinzioni - Carpenteria, armatura e particolari
INOR	12	E	E2	B	Z	FA	18	0	5	003	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Basamento generatore - Carpenteria, armatura e particolari
INOR	12	E	E2	B	C	FA	18	0	5	003	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Basamento serbatoio generatore - Carpenteria, armatura e particolari
INOR	12	E	E2	C	L	FA	18	0	5	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Relazione di calcolo pozzetti polifore
INOR	12	E	E2	C	L	FA	18	0	5	002	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Relazione di calcolo cancello d'ingresso, recinzioni e fondazioni
INOR	12	E	E2	C	L	FA	18	0	5	003	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Relazione di calcolo basamento generatore
INOR	12	E	E2	C	L	FA	18	0	5	004	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Relazione di calcolo basamento serbatoio generatore
INOR	12	E	E2	C	L	FA	18	0	0	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Relazione di calcolo pavimentazioni stradali e di piazzale
INOR	12	E	E2	R	I	FA	18	0	4	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Relazione idraulica, calcolo smaltimento acque meteoriche ed
INOR	12	E	E2	B	C	FA	18	0	5	004	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Caratteristiche fognature 1 di 3
INOR	12	E	E2	B	C	FA	18	0	5	005	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Caratteristiche fognature 2 di 3
INOR	12	E	E2	B	C	FA	18	0	5	006	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Caratteristiche fognature 3 di 3
INOR	12	E	E2	P	Z	FA	18	0	7	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Strada di Accesso al Piazzale - Planimetria, tracciamento, profilo longitudinale, sezione tipo, segnaletica
INOR	12	E	E2	W	9	FA	18	0	7	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Strada di Accesso al Piazzale - Sezioni trasversali
INOR	12	E	E2	R	O	FA	18	0	7	001	FA18 - FABBRICATO PT BRESCIA EST Pk 110+300 - Strada di Accesso al Piazzale - Relazione descrittiva tracciato stradale di

**2. RELAZIONE GENERALE**

La presente relazione contiene i calcoli di verifica della sovrastruttura stradale e di piazzale previste nell'opera

**FA18 PT di BRESCIA EST** per la linea ferroviaria A.V./A.C. Torino - Venezia, tratta Milano - Verona lotto funzionale Brescia Verona.

**3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES;
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - BOLLETTINO UFFICIALE Norme Tecniche - anno XXIX n. 178 del 15 settembre 1995: "Catalogo delle pavimentazioni stradali"

**4. MATERIALI**

Vedi elaborato INOR11EE24TFA0000001

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
12

Codifica Documento  
E E2 CL FA18 00 001

Rev.  
A

Foglio  
4 di 12

## 5. DESCRIZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI

La pavimentazione prevista è di tipo flessibile.

Nelle Sezioni in Rilevato e Trincea presenta uno spessore totale di 33 cm ed è costituito da quattro strati:

- STRATO DI FONDAZIONE (miscela di inerti stabilizzati per granulometria e compattati) di spessore 20 cm
- BASE IN MISTO BITUMATO (conglomerato bituminoso aperto) di spessore 6 cm
- BINDER (conglomerato bituminoso semiaperto) di spessore 4 cm
- MANTO DI USURA (conglomerato bituminoso chiuso) di spessore 3 cm

## 6. DESCRIZIONE DEL METODO DI VERIFICA

Nel presente paragrafo vengono riportati i criteri di verifica adottati per la sovrastruttura stradale flessibile in accordo al metodo proposto in “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”. Per i parametri si fa riferimento alle indicazioni riportate sulla CNR “Catalogo delle pavimentazioni stradali”.

Il metodo AASHTO permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8.2t che una pavimentazione di assegnate caratteristiche meccaniche riesce a sopportare prima di raggiungere il valore di PSI finale (PSI = Present Serviceability Index), in corrispondenza del quale si ritiene che la pavimentazione sia giunta al termine della sua vita utile e quindi necessita di manutenzione.

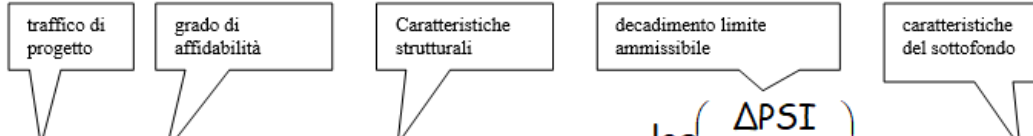
Note le caratteristiche dei materiali costituenti la stratigrafia di progetto è possibile determinare il numero di assi massimo che la pavimentazione può sopportare, da confrontare con il traffico di progetto che interesserà la sovrastruttura durante la sua vita utile.

### Calcolo del traffico massimo sopportabile

Il traffico di progetto  $W_{18}$ , inteso come il numero di passaggi di assi singoli equivalenti da 8.2 t sopportabile, tiene conto dei seguenti aspetti:

1. grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento
2. decadimento limite ammissibile della sovrastruttura
3. caratteristiche degli strati (Numero di struttura SN)

secondo la seguente relazione:



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

con

- $Z_R$  è il valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità  $R=90\%$  (probabilità che il numero di ripetizioni di carico  $N_t(\max)$  che portano il valore  $PSI = PSI_{fin}$  sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni  $N_t$  realmente applicate alla sovrastruttura); assume un valore pari a  $-1,282$ ;

Fattore di Affidabilità $Z_r$				
$R_1$	80%	85%	90%	95%
$Z_r$	-0.841	-1.037	-1.282	-1.645

Da CNR “Catalogo delle pavimentazioni stradali”



- $S_0$  è la deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione; per le pavimentazioni flessibili, assume un valore compreso tra 0,40 e 0,50 quando si tiene conto dell'errore che si commette sia sul traffico sia sulla prestazione prevista per una data pavimentazione; è stato scelto un valore pari a 0,45;
- Il grado di efficienza della pavimentazione, noto anche come PSI (Present Serviceability Index), esprime la misura della idoneità di questa ad assicurare la sicurezza della circolazione e le condizioni di confort per gli utenti ed assume valori numerici compresi tra 0 (strada in pessime condizioni) e 5 (strada in ottime condizioni). Il grado di efficienza ritenuto generalmente accettabile, per le strade in oggetto, prima che si rendano necessari radicali interventi sulla pavimentazione è  $PSI_{fin} = 2$ . Mentre viene assunto un valore di  $PSI_{iniz} = 4$  poiché si tiene conto delle inevitabili imperfezioni costruttive.

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

Da CNR "Catalogo delle pavimentazioni stradali"

- $M_r$  è il modulo resiliente del sottofondo in psi; con riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, il terreno superficiale presenta buone caratteristiche meccaniche, pertanto, comunque dal lato della sicurezza, si assume un valore medio pari a 90 MPa (12611.63 psi) con riferimento alle indicazioni fornite dalla CNR "Catalogo delle pavimentazioni stradali"

$M_r = 150 \text{ N/mm}^2$ (*)
$M_r = 90 \text{ N/mm}^2$ (**)
$M_r = 30 \text{ N/mm}^2$ (***)

(\*) CBR = 15% , K = 100 KPa/mm

(\*\*) CBR = 9% , K = 60 KPa/mm

(\*\*\*) CBR = 3% , K = 20 KPa/mm

Da CNR "Catalogo delle pavimentazioni stradali"

- SN è lo structural number; nel metodo ad ogni strato (di spessore  $H_i$  espresso in pollici) viene assegnato un coefficiente di struttura che rappresenta il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione. Un ulteriore fattore viene introdotto per considerare gli effetti del drenaggio. Il contributo di ogni singolo strato alla prestazione complessiva della pavimentazione è dato dal prodotto dei 2 coefficienti  $a_i$  e  $d_i$  per il suo spessore  $H_i$  come segue:



$$SN_i = a_i H_i d_i$$

$SN_i$  = numero di struttura dell'i-esimo strato [inch];

$a_i$  = coefficiente di strato dell'i-esimo strato [adimensionale];

$H_i$  = spessore dell'i-esimo strato [inch].

$d_i$  = coefficiente di drenaggio dell'i-esimo strato.

Inoltre, si tiene conto del contributo dato dal sottofondo SNSG (structural number of subgrade) attraverso la sua capacità portante CBR come segue:

$$SNSG = 3.51 \log_{10} CBR - 0.85 (\log_{10} CBR)^2 - 1.43 \quad \text{per } CBR \geq 3$$

$$SNSG = 0 \quad \text{per } CBR < 3$$

con

CBR = indice di portanza (California Bearing Ratio) [%] = MR[MPa]/10

Pertanto SN viene così calcolato:

$$SN = \sum_{i=1}^{n_{strati}} a_i H_i d_i + SNSG \quad [\text{Inch}]$$

$$SN = \sum_i^{n_{strati}} a_i d_i \frac{H_i}{25.4} + SNSG = 0.03938 \sum_i^{n_{strati}} a_i d_i H_i + SNSG \quad [\text{mm}]$$

### Calcolo del traffico agente

Il calcolo del traffico agente viene condotto a partire dal traffico giornaliero medio TGM, che transita o si presume transiterà nell'infrastruttura nel primo anno di vita utile.

La stima del TGM è condotta sulla base del flusso dell'ora di punta riportato nel documento "INOR11EE2ROOV30G0002 OV30 – STUDI AMBIENTALI PRESCRIZIONI CIPE REPORT MONITORAGGIO DATI DI TRAFFICO" assumendo quest'ultimo pari a circa il 10% del TGM.

In particolare, per SL94 (corrispondente alla postazione 35 del documento) si evince quanto segue:

**POSTAZIONE 35 NODO 45**

DATA	19/07/2018
PERIODO INTERVALLO	17:30-18:30

MANOVRA	CICLI MOTOCICLI	AUTOVEICOLI	AUTOCARRI >35q.li	AUTOBUS	TOTALE	AUTOVEICOLI EQUIVALENTI	% VEICOLI PESANTI
A->ROT	28	300	0	0	328	308	0%
ROT->A	27	294	2	0	323	307	1%
B->ROT	2	134	6	0	142	150	4%
ROT->B	9	158	4	0	171	171	2%
C->ROT	16	130	0	0	146	135	0%
ROT->C	9	130	0	0	139	133	0%
D->ROT	26	330	4	0	360	348	1%
ROT->D	27	312	4	0	343	330	1%
X	12	134	0	0	146	138	0%

Pertanto, considerando un flusso dell'ora di punta pari a 360 veicoli, il TGM risulta pari a 3600.

Questo valore dovrà essere corretto considerando i seguenti fattori:

- L'evoluzione del traffico nel corso degli anni (r). È alquanto difficile poter prevederne l'esatta evoluzione, in genere si assiste a tassi di crescita maggiori nei primi anni di vita tassi che poi si riducono nel tempo. In mancanza di dati più precisi si può assumere un tasso compreso tra il 2%÷3% nel primo periodo di vita utile, 1 ÷ 2% nel medio periodo di vita utile e 1% nell'ultima parte;
- La distribuzione del traffico per senso di marcia (pd). In genere si può assumere che il TGM si suddivida equamente nelle due direzioni. In particolari situazioni, legate a fenomeni di pendolarismo si può verificare una diversa suddivisione (70% in un senso, 30% nell'altro);
- La percentuale di veicoli commerciali (p). Questa varia da valori nulli se il transito è interdetto a questa categoria di mezzi, fino ad assumere valori del 30 ÷ 40%. Valori medi sono compresi intorno tra 10 ÷ 15%;
- Percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta (pl). Non tutti i veicoli commerciali transitano nella corsia lenta; parte di questi, soprattutto quelli con minor carico, raggiungono velocità tali da impegnare anche le altre corsie. Si considera questo aspetto ipotizzando che (generalmente) il 95% di tutti i veicoli commerciali transiti sulla corsia lenta;
- La dispersione delle traiettorie (d). La traiettoria seguita dalle ruote, come già accennato, non è sempre la stessa, ma si disperde nell'intorno di un valore medio. Si tiene conto di ciò riducendo (in genere) del 20%, il TGM;
- La distribuzione dei carichi del traffico commerciale. I veicoli che lo compongono non hanno gli stessi carichi per asse determinando livelli di sollecitazione differenti. Per omogeneizzare i risultati si ricorre al concetto di asse equivalente che la progressione del danno prodotto varia in modo esponenziale con il carico stesso:



- Yoder ha proposto l'espressione

$$C_{eq} = 2^{0.78(x-y)}$$

dove x è il peso dell'asse in esame ed y il peso dell'asse equivalente standard.

- Ricerche più recenti mostrano il seguente legame:

$$C_{eq} = (x/y)^4$$

La dipendenza dalla 4a potenza è stata studiata con riferimento all'asse standard da  $y=80$  kN ed è riconosciuta valida internazionalmente.

- Il numero medio degli assi di un generico veicolo commerciale. Questo è compreso tra 2 e 5. Se si tiene conto della distribuzione delle differenti classi di veicoli commerciali, si può assumere un valore compreso tra 2.25 e 2.7.

Il numero N di assi cumulati alla fine della vita utile potrà determinarsi moltiplicando il TGM per i parametri suddetti:

$$N = 365 \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Il numero di assi che transitano in un giorno dell'ultimo anno della vita utile sarà:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot (1+r)^n$$

Assumendo valida la legge della 4a potenza e che un asse da 18 kip coincida con l'asse standard da 80 KN (8 t), la valutazione del traffico cumulato può essere condotta noto lo spettro di traffico.

Per la composizione del traffico previsto su ciascun tipo di strada sono stati assunti degli spettri tipici di veicoli commerciali, come segue.

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	↓80	
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100	↓100	
11) " "	"	↓40	↓100		↓80	↓80	↓80
12) " "	"	↓60	↓110		↓90	↓90	↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120		↓130	↓130	↓130
14) autobus	2	↓40	↓80				
15) " "	2	↓60	↓100				
16) " "	2	↓50	↓80				

Da CNR "Catalogo delle pavimentazioni stradali"





Tipo veicolo commerciale	Percentuale %	Frequenza degli assi distribuiti per peso	Frequenze parziali degli assi															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	80.00%	Frequenza degli assi distribuiti per peso	80.0%	80.0%														
2	0.00%			0.0%	0.0%													
3	0.00%					0.0%					0.0%							
4	0.00%						0.0%						0.0%					
5	0.00%					0.0%					0.0%							
6	0.00%								0.0%				0.0%					
7	0.00%					0.0%					0.0%	0.0%						
8	0.00%								0.0%				0.0%					
9	0.00%					0.0%					0.0%							
10	0.00%								0.0%			0.0%	0.0%					
11	0.00%					0.0%					0.0%		0.0%					
12	0.00%								0.0%			0.0%		0.0%				
13	0.00%								0.0%						0.0%	0.0%		
14	20.00%					20.0%					20.0%							
15	0.00%								0.0%				0.0%					
16	0.00%							0.0%			0.0%							
			80.0%	80.0%	0.0%	20.0%	0.0%	0.0%		20.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	

Peso asse (ton)	Frequenza asse	Coefficiente equivalenza 4 <sup>^</sup>	Transiti da 8 t
1	80,0%	0,00024	0,02%
2	80,0%	0,00391	0,31%
3	0,0%	0,01978	0,00%
4	20,0%	0,06250	1,25%
5	0,0%	0,15259	0,00%
6	0,0%	0,31641	0,00%
7	0,0%	0,58618	0,00%
8	20,0%	1,00000	20,00%
9	0,0%	1,60181	0,00%
10	0,0%	2,44141	0,00%
11	0,0%	3,57446	0,04%
12	0,0%	5,06250	0,00%
13	0,0%	6,97290	0,00%
<b>TOTALE</b>	<b>200,0%</b>	<b>TOTALE</b>	<b>21,62%</b>

Il passaggio di 100 veicoli commerciali determina il transito di 200,0 assi di differente peso, che corrispondono al passaggio di 21,6 assi equivalenti da 8 t.

Numero transiti totali  $W_{18} =$  2.168.394 Assi da 8 t



### DETERMINAZIONE STRUCTURAL NUMBER (SN)

STRATI	Spessore $s_i$ (mm)	Coefficient e drenaggio	Coefficiente spessore ( $a_i$ )	$s_i \cdot d_i \cdot a_i$	CBR	$M_R$ (psi)
Sottofondo					9,00	12611,63
Fondazione	200	1	0,12	24,00		
Base cementata	0	1	0,22	0,00		
Base bitumata	60	1	0,18	10,80		
Collegamento	40	1	0,40	16,00		
Usura	30	1	0,45	13,50		
				64,30		

SNSG =

1,145399256

SN = SNSG + 0,0394  $\sum s_i \cdot d_i \cdot a_i$  =

3,678819256

 $\log_{10} W_{18} =$ 

6,768753

Pari ad un transito ammissibile  $W_{18}$  :

5.871.559

assi da 8t

a fronte di un transito complessivo di

2.168.394

assi da 8t

VERIFICATO

La verifica è soddisfatta.