



Corso Vittorio Emanuele II, 17 - 26100 CREMONA – C.F.80002130195  
Settore Manutenzione e Sviluppo Rete Stradale  
Dirigente: Ing. Patrizia Malabarba  
e-mail: [strade@provincia.cremona.it](mailto:strade@provincia.cremona.it) - PEC: [protocollo@provincia.cr.it](mailto:protocollo@provincia.cr.it)

**S.P. N.33 "SENIGA-ISOLA PESCAROLI" (CR) - S.P. N.10 "DI CREMONA I°, DI  
CREMONA II° E DEL PONTE SUL PO" (PR).  
INTERVENTO DI RISANAMENTO CONSERVATIVO DEL PONTE SUL FIUME PO IN  
LOCALITA' SAN DANIELE PO (CR) - ROCCABIANCA (PR) - LOTTO 1.  
CUP G37H15000460002**

1	Revisione 01 a seguito del rapporto tecnico n°1 del 18/12/2015		12/2015
0	prima emissione		11/2015
emissione	descrizione	redatto	data emissione
livello: <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>		codice CUP:	
elaborato: <b>RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE</b>		allegato n.: <b>5</b>	scala:
<b>L'ESPERTO TECNICO</b> (Geom. Antonio Mariani)	<b>IL PROGETTISTA</b> IL FUNZIONARIO TECNICO (Ing. Paolo Orlandi)	<b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b> V° IL RUP (Ing. Patrizia Malabarba)	data Validazione
<b>L'ISTRUTTORE TECNICO</b>			
Percorso \\lavorf\10\ PonteSDaniele\Progetto_Cremona\PROGETTO ESECUTIVO .REV01\Copertine_REV01.dwg			

# INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. METODO DI DIMENSIONAMENTO.....	2
3. ANALISI DEL TRAFFICO.....	3
4. SCELTE DI PROGETTO.....	3
5. CALCOLO DI DIMENSIONAMENTO.....	5



## 1. PREMESSA

La seguente relazione ha per oggetto il dimensionamento della nuova pavimentazione stradale che si prevede di porre in opera sul ponte.

## 2. METODO DI DIMENSIONAMENTO

Il metodo di dimensionamento della sovrastruttura utilizzato è quello razionale di Ivanov.

Tale metodologia di calcolo si basa sul criterio di limitare la massima deflessione che si verifica al termine della vita utile sulla pavimentazione.

La freccia massima ammissibile di progetto risulta dipendente dal numero  $N$  di assi equivalenti all'asse standard (di un giorno e per corsia) che transiteranno sulla strada all'anno  $n$ , termine della vita utile.

La formula che esprime questo tipo di legame è la seguente:

$$f_{amm} = 0,17 - 0,026 \log(N)$$

Il numero  $N$  di assi cumulati che transitano in un giorno dell'ultimo anno  $n$  della vita utile può essere determinato a partire dal Traffico Giornaliero Medio (TGM) con la seguente relazione:

$$N = TGM \times P_p \times T_m \times T_l \times D_t \times C_{eq} \times (1 + t_a)^n$$

dove

- $P_p$  = percentuale di veicoli pesanti;
- $T_m$  = traffico per senso di marcia;
- $T_l$  = traffico per corsia lenta;
- $D_t$  = dispersione traiettorie;
- $C_{eq}$  = Coefficiente di equivalenza veicoli commerciali – asse standard, rapportato agli assi equivalenti;
- $t_a$  = tasso accrescimento annuo traffico

Il modulo elastico di progetto  $E_p$  è legato alla freccia massima ammissibile dalla seguente relazione:

$$E_p = \frac{2pa}{f_{amm}}$$

dove:

- $p$  = pressione di gonfiaggio del pneumatico (assunta pari a 8 daN/cm<sup>2</sup>);
- $a$  = raggio di impronta del pneumatico (assunto circolare pari a 15 cm)

Affinché il metodo sia verificato il modulo elastico di progetto  $E_p$  dovrà essere inferiore al modulo equivalente  $E_e$  della pavimentazione moltiplicato per un coefficiente di sicurezza  $c_s$ .

Per determinare il modulo  $E_e$  si introduce un parametro  $n_e$  di equivalenza tra il modulo  $E_o$  dell'ammasso semi-infinito (corpo stradale) e il modulo  $E_1$  dello strato 1 di spessore  $s_1$ . In pratica a parità di cedimenti totali, si sostituisce allo strato 1 di modulo  $E_1$  uno strato di spessore  $n_e \times s_1$  e modulo  $E_o$ .

In base alla teoria dell'elasticità e a favore di sicurezza si assume:

$$n_e = 2,5 \sqrt{\frac{E_1}{E_o}}$$

Svolgendo le integrazioni e sommando si ottiene la seguente espressione:

$$E_e = \frac{E_o}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{n_e^{3,5}} \right) \arctan \left( \frac{n_e s_1}{2a} \right)}$$

L'espressione proposta da Ivanov consente pertanto di determinare  $E_e$  definito come il modulo equivalente di uno strato semi-infinito con lo stesso cedimento di uno strato di spessore  $s_1$  di modulo  $E_1$  poggiante su uno strato semi-infinito di modulo  $E_o$ .

Il metodo è suscettibile di iterazione, consentendo così di sostituire ad un insieme di più strati un ammasso ideale semi-infinito.

Nel presente calcolo di dimensionamento delle pavimentazioni si prenderanno in considerazione, al di sopra dell'ammasso con piano di posa finito a quota soletta d'impalcato, lo strato di mista bitumata e lo strato di usura (tappeto).

### 3. ANALISI DEL TRAFFICO

Per il dimensionamento della sovrastruttura stradale sono stati utilizzati i dati ottenuti dai due rilievi del traffico effettuati in agosto e ottobre 2015, ed in particolare il valore più elevato di ottobre, ritenuto più significativo, pari a 4.221 vv/g con una percentuale di veicoli pesanti pari al 26%.

### 4. SCELTE DI PROGETTO

Per disporre dei dati di immissione nel modello si è provveduto a determinare il modulo di rigidezza del campione di pavimentazione prelevato con carotaggio sulla campata n. 3 (carota n. 2 vedi Relazione indagini pavimentazione).

La carota in esame presentava uno spessore medio di 16-17 cm, pertanto si è provveduto, in laboratorio a dividerla in due parti in modo da caratterizzare le prestazioni dell'attuale pavimentazione sul piano di fresatura, previsto in progetto a -9,0 cm dal piano viabile esistente.

Il rapporto di prova è allegato alla presente relazione (RAPPORTO DI PROVA N° 26999/C/15 e del 23/10/2015).

Come si nota dall'esito della prova lo strato inferiore (sigla 221/AC/15-02) presenta un modulo di rigidezza di 6.845 Mpa che denota una parziale ossidazione del legante, ma che risulta comunque compatibile con valori propri di conglomerati bituminosi ancora in buono stato.

Lo strato superiore della carota – oggetto di asportazione mediante fresatura – (sigla 221/AC/15-01) presenta un modulo di rigidità molto elevato (9.602 Mpa). Il dato evidenzia l'invecchiamento e l'ossidazione del legante dovuti al tempo, con un conseguente livello di rigidità tale da favorire lo stato fessurativo sotto carichi accidentali ed eventi atmosferici invernali (es. ghiaccio).

Il modulo di rigidità dell'attuale pavimentazione inserito nel modello di calcolo è stato dimezzato, a favore di sicurezza, in virtù delle considerazioni esposte sopra (stato di invecchiamento del bitume).

Pertanto si è posto:

$$E_1 = M_d_{inf} / 2 = 6.845 \text{ Mpa} / 2 * 10 = 34.225 \text{ Kg/cm}^2$$

Su tutto l'impalcato del ponte è stato adottato il seguente pacchetto di progetto, da posare previa fresatura di 9 cm:

- strato di usura: spessore 3 cm (tappeto antiskid alleggerito)
- strato di base: spessore 6 cm (misto bitumato alto modulo)

La vita utile assegnata per le pavimentazioni è pari a 15 anni.

Il coefficiente di sicurezza  $c_s$  adottato è pari a 1,2.

Per il sottofondo si considera, a favore di sicurezza, un piano di posa in misto granulare stabilizzato a cemento assegnando il modulo di deformazione  $M_d = 1200 \text{ Kg/cm}^2$  e assumendo un modulo di elasticità dell'ammasso  $E_o = 0,65 \times M_d = 780 \text{ Kg/cm}^2$ .

Le ipotesi di progetto sono di seguito riassunte:

<b>Nuova pavimentazione – vita utile 15 anni</b>	
Traffico giornaliero medio (TGM)	4.221
Percentuale veicoli commerciali (%)	26
Traffico per ogni senso di marcia	0,5
Traffico per corsia lenta	1
Dispersione delle traiettorie	0,8
Coefficiente di equivalenza veicoli commerciali – asse standard	1,41
Tasso di incremento annuo del traffico (%)	1

Il numero di assi equivalenti N per giorno e per corsia all'anno finale risulta: 833,05 .

## 5. CALCOLO DI DIMENSIONAMENTO

Il dimensionamento con il metodo Ivanov è stato effettuato per l'ipotesi di traffico e vita utile sopra evidenziate. I risultati delle verifiche, automatizzate con un semplice foglio di calcolo elettronico, sono di seguito riportati.

### Nuova pavimentazione – vita utile 15 anni

freccia ammissibile  $f_{amm} = 0,094$  cm

$E_o = 0,65 * M_d = 780$  Kg/cm<sup>2</sup>

modulo elastico ammissibile  $E_{amm} = 2.551,49$  Kg/cm<sup>2</sup>

modulo elastico di progetto  $E_p = 3.061,79$  Kg/cm<sup>2</sup>

MATERIALE	SPESSORE	MODULO ELASTICITA'
Strato di base esistente	8 cm	34.225 Kg/cm <sup>2</sup>
Mista alto modulo	6 cm	65.000 Kg/cm <sup>2</sup>
Tappeto modificato alleggerito	3 cm	35.000 Kg/cm <sup>2</sup>

modulo equivalente  $E_e = 3.764,03$  Kg/ cm<sup>2</sup>

$E_e > E_p$  verificato

<b>VERIFICA DELLO SPESSORE DEGLI STRATI BITUMINOSI CON IL METODO IVANOV</b>			
<b>NUOVA PAVIMENTAZIONE – VITA UTILE 15 ANNI</b>			
<b>DATI</b>			
TGM	Traffico giornaliero medio	dato Provincia CR	4221
vu	vita utile	dato di progetto	15
Pp	% pesanti	dato Provincia CR	0,26
Tm	Traffico per senso di marcia	ipotizzato	0,50
Tl	Traffico per corsia lenta	ipotizzato	1,00
Dt	Dispersione traiettorie	ipotizzata	0,80
Ce	Coefficiente equivalenza veicoli commerciali - asse standard rapportato agli assi equivalenti	ipotizzato	1,41
ta	Tasso di accrescimento annuo del traffico	ipotizzato	0,01
cs	coefficiente sicurezza	dato di progetto	1,20
E0	modulo di elasticità dello strato	materiale di partenza: soletta ponte assimilata a misto granulare stabilizzato a cemento	1200,00
<b>VALORI AMMISSIBILI</b>			
famm	Freccia ammissibile	$0,17-0,026\log(N)$	0,0941
Eamm	Modulo elastico ammissibile	$(pxd)/fam$	2551,49
<b>CALCOLO</b>			
N	numero di assi equivalenti	$((365 \times TGM \times Pp \times Tm \times Tl \times Dt \times Ce) \times (1+ta)^{vu}) / 365$	833,05
Ep	modulo elastico di progetto	$Eam \times cs$ (o da tabella)	<b>3061,79</b>
Ee0	modulo elastico equivalente sopra il piano con Md 1200 Kg/cm <sup>q</sup>	1200x0,65	780,00
E1	modulo di elasticità dello strato	materiale: mista bitumata esistente	34225,00
n1	parametro di equivalenza	$^{2,5}\text{radice}(E1/Ee0)$	4,538
S1	spessore strato		8,00
Ee1	modulo equivalente		1762,94
E2	modulo di elasticità dello strato	materiale: mista bitumata alto modulo	65000,00
n2	parametro di equivalenza	$^{2,5}\text{radice}(E2/Ee1)$	4,233
S2	spessore strato		6,00
Ee2	modulo equivalente		3172,96
E3	modulo di elasticità dello strato	materiale: tappeto modificato alleggerito	35000,00
n3	parametro di equivalenza	$^{2,5}\text{radice}(E3/Ee2)$	2,612
S3	spessore strato		3,00
Ee3	modulo equivalente		<b>3764,03</b>

<b>Verbale Geothema:</b>	221/AC/15 del 23/09/2015
<b>Contratto di riferimento prot. n°:</b>	Determina 106 del 12/02/2014
<b>Il Richiedente le prove:</b>	Provincia di Cremona Corso Vittorio Emanuele II n. 17 - 26100 Cremona
<b>Luogo e data richiesta:</b>	Cremona, 22/09/2015
<b>Vs. Rif. Richiesta:</b>	Mail
<b>Impresa esecutrice:</b>	---
<b>Fornitore:</b>	---
<b>Ente committente:</b>	Provincia di Cremona Corso Vittorio Emanuele II n. 17 - 26100 Cremona
<b>Oggetto:</b>	Ricevuta n. 1 carota per prove di laboratorio
<b>Campioni / prove:</b>	1) Modulo di rigidità su strato superiore della carota - sigla Geothema 221/AC/15-01 2) Modulo di rigidità su strato inferiore della carota - sigla Geothema 221/AC/15-02
<b>Cantiere:</b>	"S.P. Seniga - Isola Pescolari, Ponte G. Verdi sul fiume Po"
<b>Documento di riferimento:</b>	---
<b>Osservazioni:</b>	---
<b>Prove eseguite:</b>	<b>N° 2 - MISCELE BITUMINOSE - METODI DI PROVA PER CONGLOMERATI BITUMINOSI A CALDO - PARTE 26: RIGIDEZZA (Allegato C) (UNI EN 12697-26:2012)</b>

I risultati riportati nel presente documento sono riferiti esclusivamente ai campioni sottoposti a prova.  
Le incertezze estese associate ai valori misurati se riportate nel presente documento garantiscono un livello di confidenza del 95% con fattore di copertura K=2  
E' vietata la riproduzione del presente documento senza autorizzazione della Geothema S.r.l.

Il Redattore del Rapporto di Prova  
Ing. Marco Zanforzi

Il Direttore del laboratorio  
Ing. Cristian Frizzarin

RP COP. rev. 00

**Geothema srl**

Global service nel controllo qualità  
delle pavimentazioni e dei materiali stradali

Via Bachelet, 14 30037 Gardigiano di Scorzè (VE) Italy  
Tel +39 041 448431 Fax +39 041 5839560  
info@geothemalab.it www.geothemalab.it  
PEC amministrazione@pec.geothemalab.it

C.F. e P. IVA 02653720272  
R.E.A. di Venezia N. 231085  
Cap. Soc. € 50.000 i.v.  
Azienda con sistema qualità  
certificato ISO 9001

Pag. 1 di 3

Laboratorio autorizzato dal Ministero  
delle Infrastrutture e dei Trasporti  
per prove sui materiali da costruzione  
con decreto n. 5851/2014,  
per prove sulle terre e sulle rocce,  
con estensioni, con decreto  
n. 1075/2013 ai sensi dell'art. 59  
del D.P.R. 380/2001

Campione/prova: **Modulo di rigidezza su strato superiore della carota - sigla Geothema 221/AC/15-01**  
Richiedente: Provincia di Cremona  
Cantiere: "S.P. Seniga - Isola Pescolari, Ponte G. Verdi sul fiume Po"

**MISCELE BITUMINOSE - METODI DI PROVA PER CONGLOMERATI BITUMINOSI A CALDO - PARTE 26:  
RIGIDEZZA (ALLEGATO C) (UNI EN 12697-26:2012)**

Data inizio: 25/09/2015

Data fine: 25/09/2015

	Valore	u.m.
Densità miscela	---	Mg/m <sup>3</sup>
Temperatura di prova	20	°C
Tempo di carico	124	ms
Deformazione di riferimento	5	µm
Modulo di rigidezza	<b>9602</b>	MPa

Lo sperimentatore: Ing. Cristian Frizzarin



Campione/prova: **Modulo di rigidezza su strato inferiore della carota - sigla Geothema 221/AC/15-02**  
Richiedente: Provincia di Cremona  
Cantiere: "S.P. Seniga - Isola Pescolari, Ponte G. Verdi sul fiume Po"

**MISCELE BITUMINOSE - METODI DI PROVA PER CONGLOMERATI BITUMINOSI A CALDO - PARTE 26:  
RIGIDEZZA (ALLEGATO C) (UNI EN 12697-26:2012)**

Data inizio: 25/09/2015

Data fine: 25/09/2015

	Valore	u.m.
Densità miscela	---	Mg/m <sup>3</sup>
Temperatura di prova	20	°C
Tempo di carico	124	ms
Deformazione di riferimento	5	µm
Modulo di rigidezza	<b>6845</b>	MPa

Lo sperimentatore: Ing. Cristian Frizzarin

