

IL PROGETTISTA

Dott. Arch. Francesca Finco

## PROGETTO ESECUTIVO

LAVORO	RISANAMENTO FONDAZIONI STRADALI AREA SUD		
TAVOLA	ANALISI DI LABORATORIO E RELAZIONE DI CALCOLO		ELABORATO <b>C</b>
RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO ARCH. ADRIANO VOLPE	PROGETTISTA DOTT. ARCH. FRANCESCA FINCO	DIRETTORE LAVORI DOTT. ARCH. FRANCESCA FINCO	SCALA
COLLABORATORI PRINCIPALI GEOM. GRAZIANO SALVADORI	COLLABORATORI GEOM. MAURIZIO MICHIELAN DOTT. NICOLA MAURELLO	Direttori operativi GEOM. GRAZIANO SALVADORI	DATA 17.12.2015
AGGIORNAMENTO	FIRMA	DATA	

## **RISANAMENTO DELLE FONDAZIONI STRADALI AREA SUD**

### **STUDI PRELIMINARI**

#### **Sommario**

1. PREMESSA.....	2
2. ANALISI DI LABORATORIO	
3. RELAZIONE DI CALCOLO DELLE PAVIMENTAZIONE STRADALE	

## **1. PREMESSA**

La provincia di Venezia, ora città metropolitana, ha dato incaricato la ditta Geo Consulting s.r.l ad effettuare una serie di indagini in sito atte a verificare le caratteristiche fisico meccaniche dei materiali costituenti la fondazione stradale esistenze al fine di determinare, sulla base delle risorse disponibili, la soluzione ottimale per il risanamento della strada stessa.

Le analisi eseguite e allegato alla presente sono le seguenti:

- Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci UNI EN 933-1
- Determinazione dei limiti di consistenza di atterberg di una terra UNI CEN ISO/TS 17892-12
- Classificazione secondo la norma CNR-UNI 10006;
- Metodo per la determinazione della resistenza alla frammentazione Prova Los Angeles UNI EN 1097-2;
- Prova dell'equivalente in sabbia UNI EN933-8
- Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio Costipamento Proctor UNI EN 13286-2

La ditta Geo Consulting s.r.l inoltre ha eseguito una relazione di calcolo il dimensionamento della sovrastruttura stradale sulla base del quale è stato scelto l'intervento di risanamento.

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

**Studio di progettazione n° 17**

**Data di Emissione: 09/06/2015**

**FOTO SONDAGGIO N°1**





Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Studio di progettazione n° 17

Data di Emissione: 09/06/2015

**FOTO SONDAGGIO N°2**



GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

**Studio di progettazione n° 17**

**Data di Emissione: 09/06/2015**

**FOTO SONDAGGIO N°3**



GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.





Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

## RAPPORTO DI PROVA

Verbale di accettazione n° 188/4/15  
Data di accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di emissione: 08/06/2015

### Elenco campioni

SONDAGGIO N° 1 PAVIMENTAZIONE STRADALE (ESISTENTE)  
SONDAGGIO N° 2 PAVIMENTAZIONE STRADALE (ESISTENTE)  
SONDAGGIO N° 3 PAVIMENTAZIONE STRADALE (ESISTENTE)  
SONDAGGIO N° 1 MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)  
SONDAGGIO N° 2 MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)  
SONDAGGIO N° 3 MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)  
EMULSIONE BITUMINOSA SOVRASTABILIZZATA DI BITUME DISTILLATO

Campionamento a cura: del personale tecnico della Geo Consulting s.n.c.

Norme di campionamento: UNI EN 932-1 : 1998 Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati. Metodi di campionamento.  
---  
---

Il Direttore del laboratorio  
Dott. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.



Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Verbale di Accettazione n° 188/4/15  
Data di Accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di Emissione: 08/06/2015

Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Impresa esecutrice: ---  
Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"  
Località cantiere: MIRA (VE)  
Committente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Capitolato: ---  
Campione di: MISCELA SONDAGGIO N° 1 + N° 2 + N° 3 DELLA PAVIMENTAZIONE (ESISTENTE)

Data inizio prova: 18/05/2015

Data fine prova: 19/05/2015

#### CONTENUTO DI LEGANTE SOLUBILE

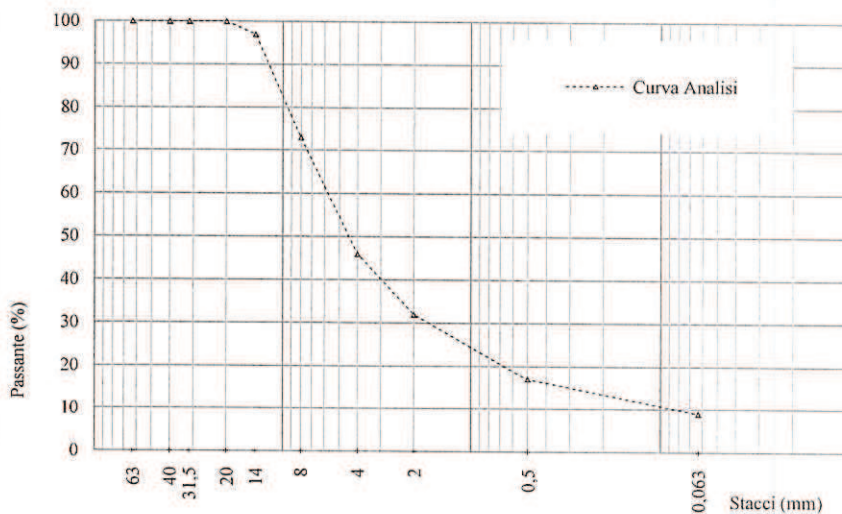
Prova in accordo con: UNI EN 12697-1 : 2012

Legante riferito agli aggregati	3,15	%
Legante riferito alla miscela	3,05	%

#### DETERMINAZIONE DELLA GRANULOMETRIA

Prova in accordo con: UNI EN 12697-2 : 2008

Stacci	Trattenuto	Passante	Fuso	
mm	%	%	Inf.	Sup.
63	0	100	---	---
40	0	100	---	---
31,5	0	100	---	---
20	0	100	---	---
14	3	97	---	---
8	24	73	---	---
4	27	46	---	---
2	14	32	---	---
0,5	15	17	---	---
0,063	8,0	9,0	---	---
<	9,0	0,0	---	---



Apparecchiatura: Centrifuga a flusso continuo - CONTROLS - 78 B0024/A (cod. CEST6301LAB)  
Cestello per estrattore - CONTROLS - 0,063 mm (cod. CENT02LAB)  
Bilancia di precisione - AND - GF8K - 8100 g / 0,01 g (cod. BIL01LAB)  
Setacci con lamiera perforata a foro quadrato da 4 a 31,5 mm ISO3310/2 - D 200 mm - GLENAMMER (cod. SETUNI08-23D200LAB)  
Setacci con tela da 2 a 0,063 mm ISO3310/1 - D 200 mm - GLENAMMER (cod. SETUNI24-33D200LAB)  
Setacciatore motorizzato - CONTROLS - 15-D0403/A (cod. SET02LAB)  
Stufa - MEMMERT - UFE 800 (cod. STF03LAB)

Lo Sperimentatore  
Dott. Umberto Leone

Il Direttore del laboratorio  
Dott. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.





Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Verbale di Accettazione n° 188/4/15  
Data di Accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di Emissione: 08/06/2015

Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Impresa esecutrice: ---  
Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"  
Località cantiere: MIRA (VE)  
Committente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Capitolato: ---  
Campione di: MISCELA SONDAGGIO N° 1 + N° 2 + N° 3 DEL MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)

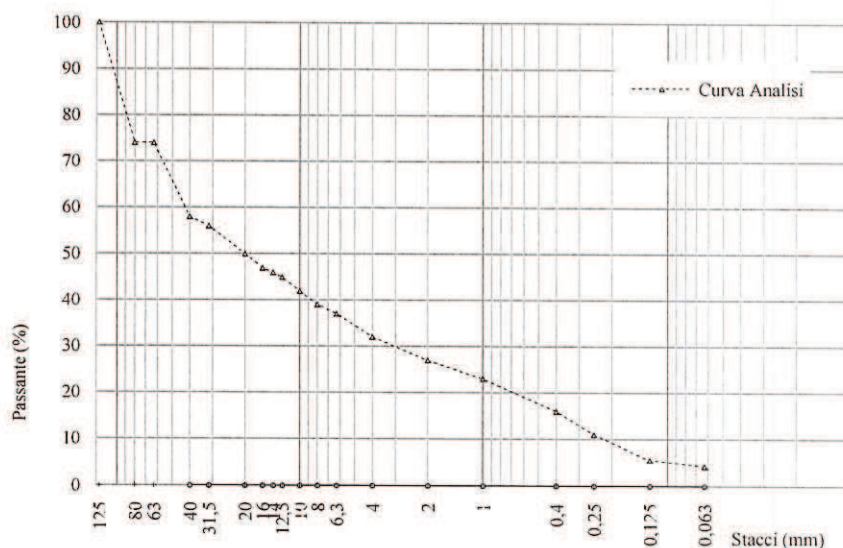
Data inizio prova: 18/05/2015

Data fine prova: 19/05/2015

**DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA**

Prova in accordo con: UNI EN 933-1 : 2012

Stacci	Trattenuto	Passante	Fuso	
mm	%	%	Inf.	Sup.
125	0	100	---	---
80	26	74	---	---
63	0	74	---	---
40	16	58	---	---
31,5	2	56	---	---
20	6	50	---	---
16	3	47	---	---
14	1	46	---	---
12,5	1	45	---	---
10	3	42	---	---
8	3	39	---	---
6,3	2	37	---	---
4	5	32	---	---
2	5	27	---	---
1	4	23	---	---
0,4	7	16	---	---
0,25	5	11	---	---
0,125	21	6	---	---
0,063	1,3	4,3	---	---
<	4,3	0,0	---	---



Massa della porzione di prova : 45,236 kg

Procedimento di analisi : Lavaggio e successiva stacciatura

Apparecchiatura: Bilancia di precisione - AND - GF8K - 8100 g / 0,01 g (cod. BIL01LAB)  
Setacciatore motorizzato - CONTROLS - 15-D0403/A (cod. SET02LAB)  
Stufa - MEMMERT - UFE 800 (cod. STF03LAB)  
Setacci con lamiera perforata a foro quadrato da 4 a 31,5 mm ISO3310/2 - D 200 mm - GLENAMMER (cod. SETUNI08-23D200LAB)  
Setacci con tela da 2 a 0,063 mm ISO3310/1 - D 200 mm - GLENAMMER (cod. SETUNI24-33D200LAB)

Lo Sperimentatore  
Dott. Umberto Leone

Il Direttore del laboratorio  
Dott. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Verbale di Accettazione n° 188/4/15  
Data di Accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di Emissione: 08/06/2015

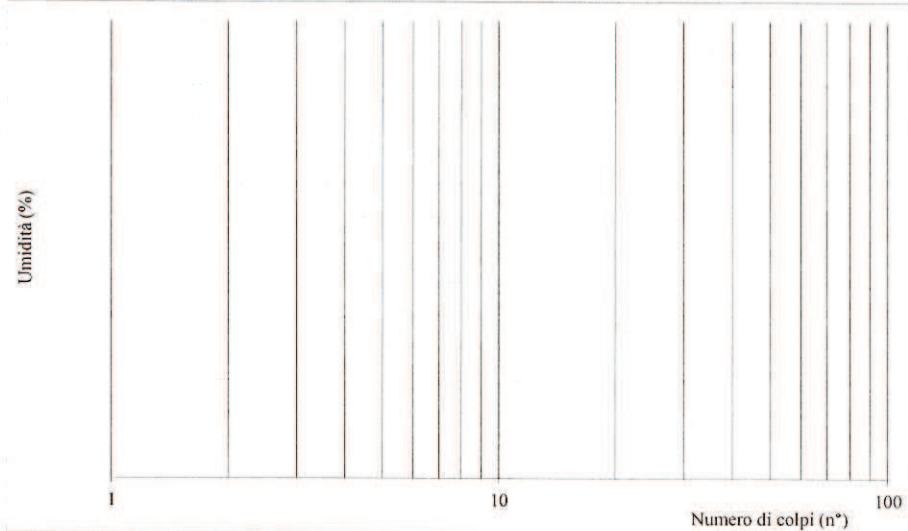
Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Impresa esecutrice: ---  
Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"  
Località cantiere: MIRA (VE)  
Committente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Capitolato: ---  
Campione di: MISCELA SONDAGGIO N° 1 + N° 2 + N° 3 DEL MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)

Data inizio prova: 18/05/2015

Data fine prova: 19/05/2015

**DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG**  
Prova in accordo con: UNI CEN ISO/TS 17892-12 : 2005

Limite di Liquidità WL					
Numero colpi	N°	---	---	---	---
Peso lordo umido	g	---	---	---	---
Peso netto umido	g	---	---	---	---
Tara	g	---	---	---	---
Peso acqua	g	---	---	---	---
Peso netto secco	g	---	---	---	---
Umidità	%	---	---	---	---

Lo Sperimentatore  
Dot. Umberto Leone

Il Direttore del laboratorio  
Dot. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.





Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Verbale di Accettazione n° 188/4/15  
Data di Accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di Emissione: 08/06/2015

Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Impresa esecutrice: ---  
Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"  
Località cantiere: MIRA (VE)  
Committente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Capitolato: ---  
Campione di : MISCELA SONDAGGIO N° 1 + N° 2 + N° 3 DEL MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)

Data inizio prova: 18/05/2015

Data fine prova: 19/05/2015

**VALUTAZIONE DEI FINI - PROVA DELL'EQUIVALENTE IN SABBIA**

Prova in accordo con: UNI EN 933-8: 2012

		1° campione di prova	2° campione di prova
$(h_1/h_2) \times 100$	%	25,8	25,4

Valore dell'equivalente in sabbia - $SE(10)$	%	25,6
---	---	------

Apparecchiatura: Bilancia di precisione - AND - GF8K - 8100 g / 0,01 g (cod. BIL01LAB)  
Muffola  
Vetreria  
Prodotti chimici

Lo Sperimentatore  
Dott. Umberto Leone

Il Direttore del laboratorio  
Dott. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.





Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Verbale di Accettazione n° 188/4/15  
Data di Accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di Emissione: 08/06/2015

Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Impresa esecutrice: ---  
Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"  
Località cantiere: MIRA (VE)  
Committente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Capitolato: ---  
Campione di : MISCELA SONDAGGIO N° 1 + N° 2 + N°3 DEL MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)

Data inizio prova: 18/05/2015

Data fine prova: 19/05/2015

**DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA ALLA FRAMMENTAZIONE MEDIANTE  
IL METODO DI PROVA LOS ANGELES**  
Prova in accordo con: UNI EN 1097-2: 2010

Classe granulometrica sottoposta a prova	mm	10 - 14
Massa campione di prova	g	5000
Massa trattenuta al setaccio da 1,6 mm - <i>m</i>	g	3278

Coefficiente Los Angeles - <i>LA</i>	%	34,4
--------------------------------------	---	------

Apparecchiatura: Macchina Los Angeles  
Sfere di acciaio  
Bilancia elettronica Controls  
Setacci ISO 3310-1/2  
Stufa

Lo Sperimentatore  
Dott. Umberto Leone

Il Direttore del laboratorio  
Dott. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.



Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22.03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Verbale di Accettazione n° 188/4/15  
Data di Accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di Emissione: 08/06/2015

Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Impresa esecutrice: ---  
Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"  
Località cantiere: MIRA (VE)  
Committente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Capitolato: ---  
Campione di: MISCELA SONDAGGIO N° 1 + N° 2 + N° 3 20% R.A.P. (ESISTENTE) + 80 % MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)

Data inizio prova: 19/05/2015

Data fine prova: 20/05/2015

**METODO DI PROVA PER LA DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA E DEL CONTENUTO D'ACQUA DI RIFERIMENTO  
DI LABORATORIO**

Prova in accordo con: UNI EN 13286 - 2 : 2010

Massa volumica a secco	Mg/m <sup>3</sup>	1,976	1,930	1,970	1,980	1,951
------------------------	-------------------	-------	-------	-------	-------	-------

**DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO D'ACQUA PER ESSICCAZIONE IN FORNO**

Prova in accordo con: UNI EN 1097 - 5 : 2008

Umidità	%	8,6	6,4	12,0	11,2	13,0
---------	---	-----	-----	------	------	------

**DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA DEI GRANULI E DELL'ASSORBIMENTO D'ACQUA**

Prova in accordo con: UNI EN 1097 - 6 : 2013

Massa volumica apparente pa	Mg/m <sup>3</sup>	---
Massa volumica granuli saturi pssd	Mg/m <sup>3</sup>	---
Massa volumica granuli pre-essicati prd	Mg/m <sup>3</sup>	---
Assorbimento d'acqua WA24	%	---

Percentuale in massa riferito al secco dei granuli trattenuti agli stacci di prova: 31,5 mm (44%)

Metodo con picnometro per aggregati con granuli compresi tra 4 mm e 31,5 mm

**METODO PER LA PREPARAZIONE DI PROVINI DI MISCELE LAGATE CON LEGANTI IDRAULICI  
MEDIANTE ATTREZZATURA PROCTOR**

Prova in accordo con: UNI EN 13286 - 50 : 2010

Pestello proctor tipo A

Pestello proctor tipo	---	A	B
Altezza dello stampo	mm	120	120
Diametro dello stampo	mm	100	150
Massa del pestello	kg	4,5	4,5
Diametro del pestello	mm	50	50

Lo Sperimentatore  
Dott. Umberto Leone

Il Direttore del laboratorio  
Dott. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.





Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

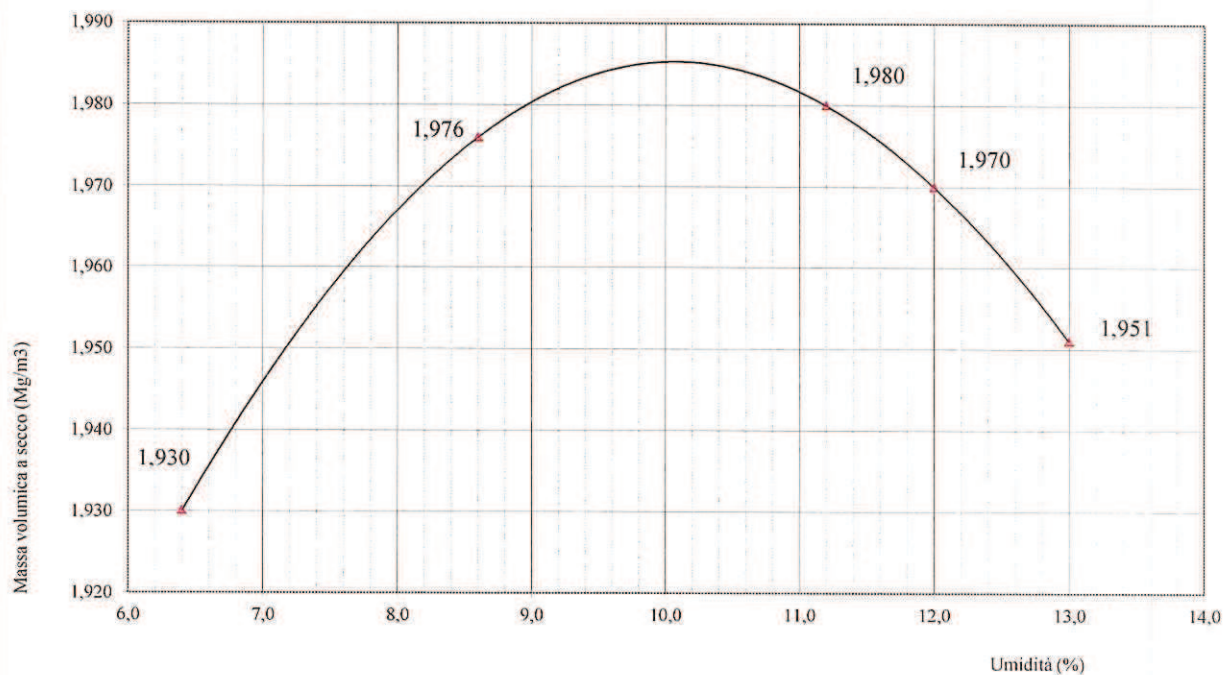
Verbale di Accettazione n° 188/4/15  
Data di Accettazione: 13/05/2015  
Luogo di accettazione: MIRA 30034 VE

Rapporto di prova n° 6753  
Data di Emissione: 08/06/2015

Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Impresa esecutrice: ---  
Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"  
Località cantiere: MIRA (VE)  
Committente: PROVINCIA DI VENEZIA Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)  
Capitolato: ---  
Campione di: MISCELA SONDAGGIO N° 1 + N° 2 + N° 3 20% R.A.P. (ESISTENTE) + 80 % MISTO GRANULARE NON LEGATO (ESISTENTE)  
Data inizio prova: 19/05/2015  
Data fine prova: 20/05/2015

**GRAFICO CURVA PROCTOR**

Massa volumica a secco massima	Mg/m <sup>3</sup>	1,985
Contenuto di acqua ottimale	%	10,0



Apparecchiatura: Stufa - MEMMERT - UFE 800 (cod. STF03LAB)  
Bilancia di precisione - AND - GF8K - 8100 g / 0,01 g (cod. BIL01LAB)

Lo Sperimentatore  
Dott. Umberto Leone

Il Direttore del laboratorio  
Dott. Umberto Leone

GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

## STUDIO DI PROGETTAZIONE

**Studio di progettazione n° 49**  
**Data di emissione: 17/12/2015**

Intestatario: PROVINCIA DI VENEZIA  
Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)

Richiedente: PROVINCIA DI VENEZIA  
Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)

Impresa esecutrice: ---

Cantiere: MIRA (VE) SP. 22 ALLACCIAMENTO SS. 309 "ROMEA"

Località cantiere: MIRA (VE)

Committente: PROVINCIA DI VENEZIA  
Via Forte Marghera, 191 30173 Mestre (VE)

Fornitore: ---

Capitolato: ---

Oggetto: RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONI STRADALI

Questo Studio di progettazione consta di n° pagine: 16  
Allegati n° pagine: ---

Il Direttore del Laboratorio  
*Dott. Umberto Leone*



GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

**Studio di progettazione n° 49**

**Data di Emissione: 17/12/2015**

1. PREMESSA .....	3
2. SOLUZIONI PROGETTUALI .....	3
3. PROPRIETA' DEI MATERIALI COSTITUENTI LE PAVIMENTAZIONI .....	3
3.1 Piano di posa .....	3
3.2 Strato di fondazione .....	4
3.3 Conglomerato bituminosi .....	5
4. IL METODO TEORICO (RAZIONALE) DI VERIFICA DELLE PAVIMENTAZIONI.....	6
5. IPOTESI DI CALCOLO E VERIFICA .....	7
5.1 Verifica a fatica dei materiali legati a bitume .....	7
5.2 Verifica a fatica dei materiali legati a cemento .....	7
5.3 Verifica a fatica dei materiali non legati .....	8
6. VERIFICA DEI DIMENSIONAMENTI.....	8
7. VERIFICA A FATICA .....	11
8. CONCLUSIONI .....	12



Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

## 1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta per la verifica delle soluzioni progettuali previste per SP. 22 allacciamento SS. 309 "ROMEIA", in Comune di Mira (Venezia).

## 2. SOLUZIONI PROGETTUALI

La "sezione tipo" della sovrastruttura ESISTENTE, è la seguente:

- |  |        |
|--|--------|
| - Usura in conglomerato bituminoso tradizionale:           | 2 cm;  |
| - Binder in conglomerato bituminoso tradizionale (chiuso): | 8 cm;  |
| - Fondazione in misto granulare (MGNL):                    | 50 cm; |
| - Piano di posa  | -/-;   |

La "sezione tipo" della sovrastruttura PROPOSTA "1", è la seguente:

- |   |        |
|---|--------|
| - Usura in conglomerato bituminoso:                         | 3 cm;  |
| - Binder in conglomerato bituminoso modificato Alto Modulo: | 7 cm;  |
| - Fondazione in Ecobase:                                    | 40 cm; |
| - Sottofondazione in misto granulare (MGNL):                | 20 cm; |
| - Piano di posa   | -/-;   |

La "sezione tipo" della sovrastruttura PROPOSTA "2", è la seguente:

- |   |        |
|---|--------|
| - Usura in conglomerato bituminoso:                         | 3 cm;  |
| - Binder in conglomerato bituminoso modificato Alto Modulo: | 7 cm;  |
| - Fondazione in Ecobase:                                    | 15 cm; |
| - Fondazione in misto cementato (MGLC):                     | 30 cm; |
| - Sottofondazione in misto granulare (MGNL):                | 15 cm; |
| - Piano di posa   | -/-;   |

## 3. PROPRIETA' DEI MATERIALI COSTITUENTI LE PAVIMENTAZIONI

A partire dalle proprietà meccaniche dei singoli materiali, si possono determinare gli indici di resistenza da utilizzarsi per implementare il modello di calcolo delle sovrastrutture.

### 3.1 Piano di posa

La portanza minima piano di posa, per tutte le soluzioni (esistente e proposte), viene considerata pari a 15 MPa. Dalla relazione (cfr. relazione 7.11 – Ingegneria Stradale / 2. Corpo stradale e pavimentazioni. Paolo Ferrari e Franco Giannini. ISEDI - 2004) dove il modulo elastico dinamico  $E_d$  è posto pari al doppio del valore di  $M_d$ , si ricava:

$$E_1 = E_d \text{ [daN/ cm}^2\text{]} = 2 \times M_d \text{ [daN/ cm}^2\text{]} = 2 \times 150 = 300 \text{ [daN/ cm}^2\text{]}$$

Il coefficiente di Poisson è assunto in  $\nu = 0,40$ .



Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

### 3.2. Strati di sottofondazione e fondazione

Per la fondazione in misto granulare non legato (MGNL), della soluzione esistente, in applicazione della relazione di Dormon e Klomp

$$E_2 = 0,206 * h^{0,45} * E_1$$

- dove:

$E_1$  = modulo del piano di posa;

$E_2$  = modulo della fondazione della pavimentazione esistente;

$h = 500$  mm

(per la quale sussiste la condizione di applicabilità date da  $E_2/E_1 = 2 \div 4$ )

si trova:

$$E_2 \text{ [daN/ cm}^2\text{]} \approx 1.000 \text{ [} \nu = 0,30\text{]}$$

Per la sottofondazione in misto granulare non legato della soluzione "proposta - 1", in applicazione della relazione di Dormon e Klomp

$$E_2 = 0,206 * h^{0,45} * E_1$$

- dove:

$E_1$  = modulo del piano di posa;

$E_2$  = modulo della sottofondazione della soluzione di progetto;

$h = 200$  mm

(per la quale sussiste la condizione di applicabilità date da  $E_2/E_1 = 2 \div 4$ )

si trova:

$$E_2 \text{ [daN/ cm}^2\text{]} \approx 670 \text{ [} \nu = 0,30\text{]}$$

La portanza minima della sottofondazione in misto granulare non legato delle soluzioni "proposta - 2" e "proposta - 3", viene considerata pari a 25 MPa. Dalla relazione (cfr. relazione 7.11 – Ingegneria Stradale / 2. Corpo stradale e pavimentazioni. Paolo Ferrari e Franco Giannini. ISEDI - 2004) dove il modulo elastico dinamico  $E_d$  è posto pari al doppio del valore di  $M_d$ , si ricava:

$$E_1 = E_d \text{ [daN/ cm}^2\text{]} = 2 \times M_d \text{ [daN/ cm}^2\text{]} = 2 \times 250 = 500 \text{ [daN/ cm}^2\text{]}$$

Il coefficiente di Poisson è assunto in  $\nu = 0,30$ .

Per la fondazione in misto cementato delle soluzioni di variante si può attribuire di norma un Modulo dinamico (cfr. Tab. 7 VI – Ingegneria Stradale / 2. Corpo stradale e pavimentazioni. Paolo Ferrari e Franco Giannini. ISEDI - 2004) di ca. 150/200.000 daN/cm<sup>2</sup> fintantoché integro e 20/25.000 daN/cm<sup>2</sup> in presenza di stato fessurativo. In favore di sicurezza si considererà nel presente calcolo un valore del modulo elastico dinamico  $E_3 = 20.000$  daN/cm<sup>2</sup>. Il coefficiente di Poisson " $\nu$ " è assunto invece pari a 0,20.



Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

### 3.3. Conglomerati bituminosi

Le caratteristiche meccaniche dei materiali bituminosi sono normalmente 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 degli strati superficiali e, di conseguenza, la durabilità nel tempo dell'opera progettata.

Nota pertanto la temperatura media della pavimentazione nei singoli strati, è possibile perfezionare l'attribuzione dei parametri meccanici di calcolo ai materiali costituenti. Per tener conto in modo sufficientemente attendibile del comportamento reologico delle miscele bituminose si può articolare l'analisi considerando distinti periodi stagionali.

Di norma, parametro termico rappresentativo allo scopo è la Temperatura Media Mensile dell'Aria (TMMA). Sulla base di tale indice, l'anno può essere suddiviso in 3 periodi (estivo, primaverile/autunnale, invernale), ad ognuno dei quali si attribuisce una Temperatura Media rappresentativa del periodo.

Prendendo come riferimento i dati meteorologici medi di Tesserà negli ultimi 30 anni dal 1961 al 1990 ([http://it.wikipedia.org/wiki/Stazione\\_meteorologica\\_di\\_Venezia\\_Tesserà#Dati\\_climatologici\\_1961-1990](http://it.wikipedia.org/wiki/Stazione_meteorologica_di_Venezia_Tesserà#Dati_climatologici_1961-1990)), si assumono le seguenti temperature medie mensili:

MESE	t [°C]	MESE	t [°C]
Gennaio	3,3	Luglio	23,0
Febbraio	4,7	Agosto	22,6
Marzo	8,3	Settembre	18,9
Aprile	12,0	Ottobre	13,8
Maggio	17,1	Novembre	7,8
Giugno	20,5	Dicembre	4,0

e, conseguentemente, le successive temperature stagionali:

Periodo	Mesi	Tm [°C]	Tp [°C]
Invernale	GEN-FEB-DIC	4,0	4,0
Primavera/Autunno	MAR-APR-OTT-NOV	10,5	11,0
Estivo	MAG-GIU-LUG-AGO-SET	20,4	21,0

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

calcolata tramite leggi sperimentali (Witczak, Camomilla), in funzione della profondità Z [cm], valutata a metà dello spessore del singolo strato 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  $T_i = TMMP$ , si ricavano le seguenti temperature nelle ipotesi di conglomerato bituminoso con gli spessori progettuali:

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

Periodo	Tusura [°C] (z=1,0 cm)	Tbinder [°C] (z=6,0 cm)	Tbase [°C] (-/-)	Tpavim [°C]
Invernale	6,9	7,1	-/-	7,0
Primavera/Autunno	16,4	16,4	-/-	16,4
Estivo	30,0	29,7	-/-	29,9

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 secondaria" di tipo C di cui al D.M. 05.11.2001 (cui si riconduce la pavimentazione oggetto di verifica) una velocità massima di percorrenza di 70 km/h (art. 142) per "autoveicoli destinati al trasporto di cose o altri usi" di massa complessiva a pieno carico superiore a 12 ton. Da tale velocità di percorrenza, assunta come riferimento per la progettazione, si determina la frequenza di sollecitazione e si quantificano i parametri meccanici da utilizzare nel progetto:

$$V = 70 \text{ Km/h} \quad f = 28 \text{ Hz (arrotondati a 30 Hz)}$$

Viene ipotizzato cautelativamente che la velocità V sia mantenuta costante per tutto il tempo di percorrenza. Ne derivano le seguenti condizioni di carico (denominate a<sub>i</sub>), che combinano tale velocità con le ipotesi formulate sulle condizioni climatiche:

$$a_1 (30 \text{ Hz}, T_1 = 30^\circ\text{C}) / a_2 (30 \text{ Hz}, T_2 = 16^\circ\text{C}) / a_3 (31 \text{ Hz}, T_3 = 7^\circ\text{C})$$

da cui si possono stimare i valori di Modulo dinamico e coefficiente di Poisson che rappresentano il comportamento del conglomerato nei diversi periodi stagionali.

Si utilizzeranno quindi i seguenti valori:

Condizione	Strato	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]
T3 - Inverno	Usura trad.le	110.000	0,34
	Binder trad.le	105.000	0,30
	Binder AM	145.000	0,34
	Ecobase	60.000	0,20
T2 - Prim./Aut.	Usura trad.le	70.000	0,41
	Binder trad.le	60.000	0,34
	Binder AM	105.000	0,35
	Ecobase	50.000	0,20
T1 - Estate	Usura trad.le	32.000	0,41
	Binder trad.le	30.000	0,35
	Binder AM	65.000	0,35
	Ecobase	30.000	0,20

#### 4. IL METODO TEORICO (RAZIONALE) DI VERIFICA DELLE PAVIMENTAZIONI

Per analizzare lo stato di tensione e di deformazione in una pavimentazione, questa viene schematizzata come una serie di strati orizzontali sovrapposti, indefiniti in pianta e di spessore costante, costituiti da materiali omogenei, isotropi ed elastici, caratterizzati quindi ciascuno dal modulo elastico  $E$  e dal coefficiente di Poisson  $\nu$ ; questi strati poggiano sul sottofondo, schematizzato come un semispazio indefinito, anch'esso omogeneo, elastico ed isotropo. Secondo i casi, si può considerare che lungo il piano di separazione fra due strati vi sia attrito totale, per cui non esista nessun scorrimento



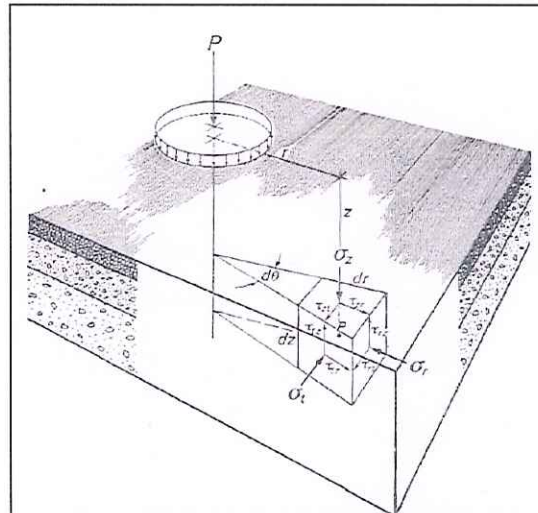
**Studio di progettazione n° 49**

**Data di Emissione: 17/12/2015**

relativo, oppure che non esista alcun vincolo che si oppone allo scorrimento, in modo tale che si eserciti un'aderenza parziale.

Il metodo di calcolo utilizzato nella presente relazione, come già accennato in premessa, si basa sul modello BISAR, elaborato dal Koninklijke/Shell Laboratorium di Amsterdam, inteso come evoluzione del programma BISTRO (BITumen STress in Road), che trae 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 Hooke riformulata secondo le analisi di Sneddon-Muky. L'applicazione di sollecitazioni normali/tangenziali sulla sovrastruttura dà luogo ad uno stato tenso-deformativo nei singoli strati di pavimentazione, che può essere determinato in qualsiasi punto del complesso degli strati, fornendo indicazione circa la criticità delle condizioni di esercizio. Tensioni e deformazioni sono poi da confrontarsi con i valori ammissibili relativi ai materiali utilizzati per il dimensionamento della sovrastruttura.



In genere ci si limita a considerare quei punti e quelle componenti di tensione e di deformazione che interessano ai fini della verifica della pavimentazione: le sollecitazioni tangenziali lungo la superficie inferiore del primo strato; i valori delle tensioni  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  nello strato di fondazione e nello strato di base (nei punti di intersezione della verticale del carico con i piani di delimitazione degli strati) che non devono superare i valori limiti ammissibili.

Altro parametro molto importante è il valore della sollecitazione verticale  $\sigma_z$  da calcolarsi sulle varie tipologie di materiale impiegato verificando che non si producano, per il sommarsi dei cedimenti plastici dovuti ai successivi passaggi dei veicoli, ormaie sulla pavimentazione.

Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

## 5. IPOTESI DI CALCOLO E VERIFICA

Per una corretta analisi del comportamento strutturale della pavimentazione occorre conoscere le sue principali cause di sollecitazione; per le pavimentazioni di tipo flessibile o semirigido queste vanno ricercate nelle sollecitazioni meccaniche dovute al traffico veicolare.

Nel caso in esame i dati di progettazione assunti sono i seguenti:

- ✓ carico-asse da 12 ton, 6 ton per ruota (2 ruote per asse);
- ✓ max pressione gonfiaggio, 8 daN/cm<sup>2</sup>;
- ✓ raggio di impronta: 15,45 cm;
- ✓ aderenza fra gli strati: si considera che solo fra gli strati bituminosi e fra i materiali da ecobase/fondazione/sottofondazione e sottofondo ci sia perfetta aderenza;
- ✓ **il metodo di calcolo utilizzato nella relazione si basa sul modello BISAR, elaborato dal Koninsklijke/Shell Laboratorium di Amsterdam, inteso come evoluzione del programma BISTRO (BITumen STress in Road).**

### 5.1. Verifica a fatica dei materiali legati a bitume

Secondo la legge di Miner, poste  $\varepsilon_i$  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:

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

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  $\varepsilon$  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  $D$ . Nel caso in esame, le condizioni di carico sono  $k = 4$  (per 4 stagioni definite), funzione della temperatura. Il calcolo della durata della pavimentazione è eseguito utilizzando una legge di fatica  $\varepsilon$ - $N$ :

$$\varepsilon_i = a N_i^{-b}$$

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  $\varepsilon_i$ .

dove:

$N_z$  = numero di cicli di riferimento all'asse standard considerato a rottura dello strato;

$\varepsilon_{x,y}$  = deformazione di trazione alla base dello strato

### 5.2. Verifica a fatica dei materiali legati a cemento

Per le miscele cementizie la sollecitazione di trazione  $\sigma_N$  che determina la rottura dopo  $N$  cicli di carico e scarico, è legata alla sollecitazione di rottura  $\sigma_R$  corrispondente ad una sola applicazione, mediante la relazione:

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

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



Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

### 5.3. Verifica a fatica dei materiali non legati

La natura ciclica dei carichi che transitano sulla superficie stradale è tale da produrre sulla sommità dello strato di sottofondo delle tensioni verticali  $\sigma_z$  che possono creare abbassamenti sul piano viabile per effetto dell'accumulo di deformazioni plastiche  $\varepsilon_z$ .

In maniera analoga a quanto visto per le leggi di fatica dei materiali legati, esistono diversi criteri per la verifica razionale degli strati di fondazione e di sottofondo basati sulle deformazioni permanenti. Il criterio adottato è quello sviluppato dal Centre de Recherches Routières (CRR):

$$\log N_z = -8,52 - 4,35 \times \log \varepsilon_z$$

dove:

$N_z$  = numero di cicli di riferimento all'asse standard considerato che causa l'accumulo critico di deformazioni permanenti;

$\varepsilon_z$  = deformazione verticale di compressione sulla sommità dello strato (di fondazione o del sottofondo)

Per il sottofondo è necessario altresì controllare che la massima sollecitazione verticale  $\sigma_z$  che non si deve superare, affinché non si producano, per il ripetersi dei cedimenti plastici dovuti al transito veicolare, ormaie nella sovrastruttura, sia:

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

## 6. VERIFICA DEI DIMENSIONAMENTI

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche effettuate per la soluzione di progetto e per la nuova soluzione di variante.

Posto:

$\sigma_{x-y}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	=	tensioni di trazione alla base dei singoli strati, in corrispondenza dell'asse della singola ruota;
$\sigma_z$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	=	tensioni di compressione in sommità dei singoli strati, in corrispondenza dell'asse della singola ruota;
$\varepsilon_x - \varepsilon_y$ [+]	=	deformazioni di trazione alla base degli strati bituminosi;
$\varepsilon_z$ [-]	=	deformazioni di compressione sul fondazione, sottofondazione e piano di posa;

### Soluzione pavimentazione esistente

Pavimentazione ESISTENTE	Inverno	Prim. / Aut.	Estate
Deflessione superficiale ( $u_z$ )	0,14 cm	0,16 cm	0,18 cm
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 2 cm (base "usura" tradizionale)	- 31,93 daN/cm <sup>2</sup>	- 30,51 daN/cm <sup>2</sup>	- 23,64 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 10 cm (base "binder" tradizionale)	+ 48,60 daN/cm <sup>2</sup>	+ 41,94 daN/cm <sup>2</sup>	+ 33,45 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_z$ a - 10 cm (sommità "MGNL")	- 1,86 daN/cm <sup>2</sup>	- 1,58 daN/cm <sup>2</sup>	- 2,36 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_z$ a - 60 cm (sommità sottofondo)	- 0,32 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,37 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,45 daN/cm <sup>2</sup>

La verifica condotta per la pavimentazione di progetto, evidenzia quanto segue:

- la freccia non è mai ammissibile (pari a 0,5 mm - ndr);
- lo strato di usura in conglomerato bituminoso è sempre compresso;
- per lo strato di binder, le tensioni a trazione alla base dello stesso non sono compatibili con le caratteristiche di resistenza normalmente attribuite a tale materiale;
- anche le tensioni compressione su MGNL e sottofondo sono difficilmente relativamente alte e difficilmente compatibili (soprattutto per il sottofondo in limo/argilloso).

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

#### Soluzione "Proposta - 1"

Pavimentazione PROPOSTA - 1	Inverno	Prim. /Aut.	Estate
Deflessione superficiale ( $u_z$ )	0,052 cm	0,056 cm	0,067 cm
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 3 cm (base "usura" trad.)	- 6,05 daN/cm <sup>2</sup>	- 6,73 daN/cm <sup>2</sup>	- 6,66 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 10 cm (base "binder" AM)	+ 10,95 daN/cm <sup>2</sup>	+ 9,83 daN/cm <sup>2</sup>	+ 9,67 daN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon_x - \varepsilon_y$ a - 10 cm (base "binder" AM)	[64,99 x 10 <sup>-6</sup> ]	[82,87 x 10 <sup>-6</sup> ]	[132,7 x 10 <sup>-6</sup> ]
$\sigma_z$ a - 10 cm (sommità "ecobase")	- 6,47 daN/cm <sup>2</sup>	- 6,61 daN/cm <sup>2</sup>	- 6,68 daN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon_z$ a - 10 cm (sommità "ecobase")	[- 54,54 x 10 <sup>-6</sup> ]	[- 68,51 x 10 <sup>-6</sup> ]	[- 121,2 x 10 <sup>-6</sup> ]
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 50 cm (base "ecobase")	+ 4,72 daN/cm <sup>2</sup>	+ 4,59 daN/cm <sup>2</sup>	+ 4,13 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_z$ - 50 cm (sommità "MGNL")	- 0,10 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,11 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,16 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_z$ - 70 cm (sommità sottofondo)	- 0,07 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,07 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,10 daN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon_z$ a - 70 cm (sommità "sottofondo")	[- 193,9 x 10 <sup>-6</sup> ]	[- 220,0 x 10 <sup>-6</sup> ]	[- 307,8 x 10 <sup>-6</sup> ]

La verifica condotta per la pavimentazione "proposta - 1", evidenzia quanto segue:

- la freccia è sempre, di poco superiore a quella ammissibile (pari a 0,5 mm - ndr);
- lo strato di usura in conglomerato bituminoso è sempre compresso;
- per lo strato di binder, le tensioni a trazione alla base sono compatibili con le caratteristiche di resistenza dei conglomerati bituminosi per binder modificati AM;
- le tensioni di trazione alla base dello strato di "ecobase" sono molto alte e da valutarsi attentamente in fase di prequalifica;
- le tensioni sui restanti materiali, sono tutte ammissibili.

#### Soluzione "Proposta - 2"

Pavimentazione PROPOSTA - 2	Inverno	Prim. /Aut.	Estate
Deflessione superficiale ( $u_z$ )	0,058 cm	0,060 cm	0,066 cm
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 3 cm (base "usura" trad.)	- 7,18 daN/cm <sup>2</sup>	- 7,51 daN/cm <sup>2</sup>	- 6,81 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 10 cm (base "binder" AM)	+ 14,29 daN/cm <sup>2</sup>	+ 12,10 daN/cm <sup>2</sup>	+ 10,22 daN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon_x - \varepsilon_y$ a - 10 cm (base "binder" AM)	[79,20 x 10 <sup>-6</sup> ]	[95,86 x 10 <sup>-6</sup> ]	[137,4 x 10 <sup>-6</sup> ]
$\sigma_z$ a - 10 cm (sommità "ecobase")	- 6,03 daN/cm <sup>2</sup>	- 6,29 daN/cm <sup>2</sup>	- 6,58 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_x - \sigma_y$ a - 25 cm (base "ecobase")	+ 1,72 daN/cm <sup>2</sup>	+ 1,16 daN/cm <sup>2</sup>	+ 1,86 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_z$ a - 25 cm (sommità "MGLC")	- 2,67 daN/cm <sup>2</sup>	- 2,91 daN/cm <sup>2</sup>	- 3,42 daN/cm <sup>2</sup>

$\sigma_x - \sigma_y$ a - 55 cm (base "MGLC")	+ 2,48 daN/cm <sup>2</sup>	+ 2,95 daN/cm <sup>2</sup>	+ 2,91 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_z$ - 55 cm (base "MGNL")	- 0,12 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,12 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,14 daN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_z$ - 70 cm (sommità "MGNL")	- 0,08 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,09 daN/cm <sup>2</sup>	- 0,10 daN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon_z$ a - 70 cm (sommità "sottofondo")	[- 187,4 x 10 <sup>-6</sup> ]	[- 196,9 x 10 <sup>-6</sup> ]	[- 223,7 x 10 <sup>-6</sup> ]

La verifica condotta per la pavimentazione proposta, evidenzia quanto segue:

- la freccia è sempre, di poco superiore a quella ammissibile (pari a 0,5 mm - ndr);
- lo strato di usura in conglomerato bituminoso è sempre compresso;
- per lo strato di binder in conglomerato bituminoso Alto Modulo, le tensioni a trazione alla base dello stesso sono compatibili con le caratteristiche di resistenza normalmente attribuite a tale materiale;
- le tensioni di trazione su Ecobase e MGLC sono compatibili;
- le tensioni sui restanti materiali sono tutte compatibili.



Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

## 7. VERIFICA A FATICA

Come detto nel precedente paragrafo 5, per tutti i materiali si rende necessario eseguire una verifica del comportamento a fatica al fine di valutare gli effetti del danno per sollecitazioni ripetute.

Per il calcolo della durabilità, espressa in termini di "numero di cicli di carico di assi da 12 ton", si utilizzano le modalità e le leggi indicate nel medesimo paragrafo 5.

I risultati sono così riassunti:

Per la soluzione di "progetto" non è possibile procedere con la verifica a fatica in quanto, come visto al paragrafo precedente, la soluzione non è verificata in termini di tensioni di trazione alla base dello strato di binder e deformazione superficiale..

### Pavimentazioni "PROPOSTE"

#### Pavimentazione PROPOSTA - 1

- Strati legati a bitume:  $9,01 \times 10^6$  cicli
- Ecobase: non minore bituminosi con  $\sigma_t \geq 0,66$  MPa
- Piano di posa:  $21 \times 10^6$  cicli

PAVIMENTAZIONE PROPOSTA "1" - CONGLOMERATI BITUMINOSI					
Stagione	gg	%gg	$10^{-6} H_i$	$10^{-6} N_i$	$10^{-6} \%g/N_i$
Inverno	90	0,2466	64,99	91,4633	0,002696
Prim. / Autun.	120	0,3288	82,87	32,3724	0,010156
Estate	155	0,4247	132,70	4,3287	0,098103
	365				0,110955
				<b>9,01</b>	<b><math>10^6 N_{tot}</math></b>

PAVIMENTAZIONE PROPOSTA "1" - SOTTO FONDO					
Stagione	gg	%gg	$10^{-6} H_i$	$\log N_i$	$10^{-6} N_i$
Inverno	90	0,2466	193,90	7,6290	10,50
Prim. / Autun.	120	0,3288	220,00	7,3905	8,08
Estate	155	0,4247	307,80	6,7560	2,42
	365				21,00
				<b>21,00</b>	<b><math>10^6 N_{tot}</math></b>

Per il piano di posa e, la massima sollecitazione verticale  $\sigma_z$  da non superare affinché non si producano, per il ripetersi dei cedimenti plastici dovuti al transito veicolare, ormaie nella sovrastruttura è:

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

In applicazione dei risultati sopra riportati si trova:

per la soluzione di variante –  $\sigma_z = 0,006 \times 300 / [(1 + 0,7 \log (9,01 \times 10^6))] = 0,31 \text{ daN/cm}^2 > 0,10 \text{ daN/cm}^2$

La vita utile della pavimentazione "proposta - 1" è pari al numero di passaggi ammissibile degli strati in conglomerato bituminoso (il primo ad andare in crisi), quindi a **9.010.000 passaggi di assi da 12,0 ton.**



Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

#### Pavimentazione PROPOSTA - 2

- Strati legati a bitume:  $7,19 \times 10^6$  cicli
- Ecobase: non minore bituminosi con  $\sigma_t \geq 0,38$  MPa
- Piano di posa:  $33,29 \times 10^6$  cicli

PAVIMENTAZIONE PROPOSTA "2" - CONGLOMERATI BITUMINOSI					
Stagione	gg	%gg	$10^{-6} \tau_i$	$10^{+6} N_i$	$10^{-6} \%g/N_i$
Inverno	90	0,2466	79,20	39,2866	0,006276
Prim. / Autun.	120	0,3288	95,86	17,3747	0,018922
Estate	155	0,4247	137,40	3,7304	0,113836
	365				0,139035
					1/N <sub>tot</sub>
					<b>7,19</b>
					<b><math>10^{+6} N_{tot}</math></b>

PAVIMENTAZIONE PROPOSTA "2" - SOTTO FONDO					
Stagione	gg	%gg	$10^{-6} \Pi$	$\log N_i$	$10^{+6} N_i$
Inverno	90	0,2466	187,40	7,6935	12,17
Prim. / Autun.	120	0,3288	196,90	7,6000	13,09
Estate	155	0,4247	233,70	7,2763	8,02
	365				
					<b>33,29</b>
					<b><math>10^{+6} N_{tot}</math></b>

Per il piano di posa e, la massima sollecitazione verticale  $\sigma_z$  da non superare affinché non si producano, per il ripetersi dei cedimenti plastici dovuti al transito veicolare, ormaie nella sovrastruttura è:

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

In applicazione dei risultati sopra riportati si trova:

per la soluzione di variante –  $\sigma_z = 0,006 \times 300 / [(1 + 0,7 \log (7,19 \times 10^6))] = 0,31 \text{ daN/cm}^2 > 0,10 \text{ daN/cm}^2$

La vita utile della pavimentazione "proposta - 2" è pari al numero di passaggi ammissibile degli strati in conglomerato bituminoso (il primo ad andare in crisi), quindi a **7.190.000 passaggi di assi da 12,0 ton.**

#### **8. CONCLUSIONI**

La presente relazione fornisce una verifica dimensionale delle sovrastrutture di progetto relativamente alla pavimentazione per il lavoro: SP. 22 allacciamento SS. 309 "ROMEA", in Comune di Mira (Venezia).

I risultati ottenuti, possono essere così riassunti:

- ✓ la soluzione di progetto non risulta verificata per tensioni di trazione alla base dello strato di binder non compatibili con le caratteristiche del materiale;
- ✓ la soluzione "proposta - 1" porta a tensioni sullo strato in ecobase molto alte e da valutarsi attentamente in fase di prequalifica. Nel qual caso la vita utile risulterebbe pari a 9.010.000 assi da 12 ton; la deformazione superficiale è di poco superiore a quella ammissibile ma solitamente attinente a strade a forte traffico ed a carattere pubblico.
- ✓ la soluzione "proposta - 2" è verificata. La vita utile risulterebbe pari a 7.190.000 assi da 12 ton. la deformazione superficiale è di poco superiore a quella ammissibile ma solitamente attinente a strade a forte traffico ed a carattere pubblico.

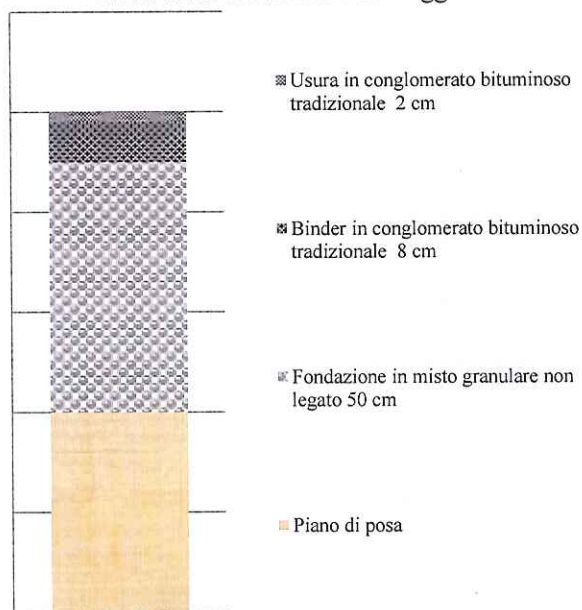
Nonostante per la proposta 1 la vita utile risulterebbe superiore a quella della proposta 2, bisogna tener conto nella scelta della sezione stradale definitiva che le tensioni, della proposta 1, ammissibili da garantire sull'Ecobase sono molto alte rispetto alle normali caratteristiche di resistenza di tale materiale, e quindi da valutarsi molto attentamente in fase di prequalifica. Al contrario le tensioni di trazione su Ecobase e MGLC per la proposta 2 sono compatibili con le caratteristiche dei materiali.

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con D.M. 3696 del 22/03/2012  
ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 Legge 1086/71

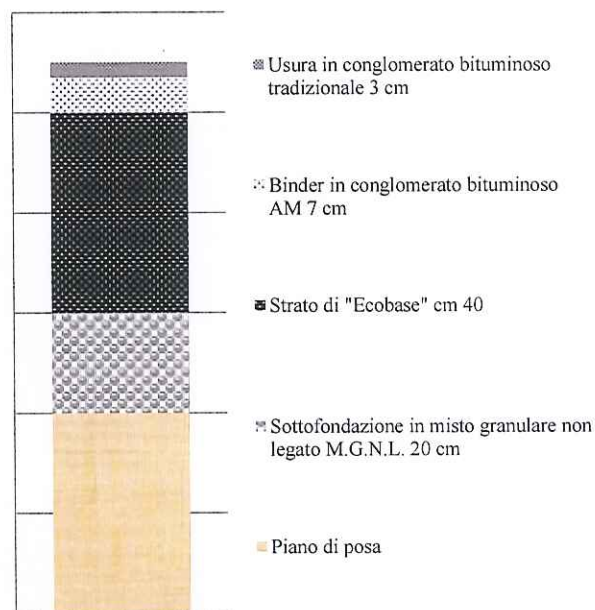
Studio di progettazione n° 49

Data di Emissione: 17/12/2015

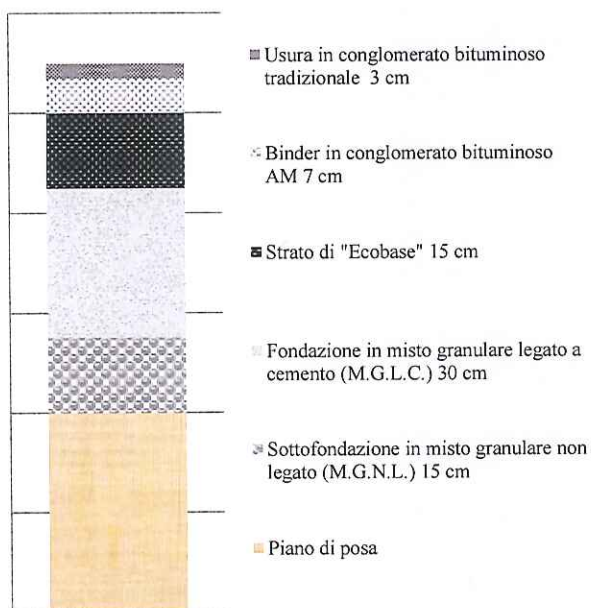
**Sovrastruttura di esistente**  
"valori medi di numero 3 sondaggi"



**Sovrastruttura di "proposta n°1"**



**Sovrastruttura di "proposta n°2"**



GEO CONSULTING s.n.c.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente rapporto di prova senza l'autorizzazione della GEO CONSULTING s.n.c.