

progetto

LEOPOLDO

Sicurezza e
Compatibilità Ambientale
nella viabilità ordinaria

PREDISPOSIZIONE DELLE LINEE GUIDA
PER LA PROGETTAZIONE ED IL CONTROLLO
DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI PER LA VIABILITÀ ORDINARIA

*SINTESI CARATTERIZZAZIONE SITI SPERIMENTALI
PROVINCE DI AREZZO, FIRENZE, LUCCA, PISTOIA, PISA E MASSA CARRARA*

REGIONE
TOSCANA



PROVINCIA DI AREZZO
PROVINCIA DI FIRENZE
PROVINCIA DI GROSSETO
PROVINCIA DI LIVORNO
PROVINCIA DI LUCCA (capofila)
PROVINCIA DI MASSA CARRARA
PROVINCIA DI PISA
PROVINCIA DI PISTOIA
PROVINCIA DI PRATO
PROVINCIA DI SIENA



UNIVERSITÀ DI PISA
Dipartimento di Ingegneria Civile



ARPAT

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana



SOMMARIO

1. SITO DI AREZZO	1
1.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE	1
1.1.1 STRATO DI USURA TIPO OPEN GRADED	1
1.1.2 STRATO DI BINDER IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO	4
1.1.3 STRATO DI BASE IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO	8
1.2 MONITORAGGIO – PROVE IN SITO	12
1.2.1 ADERENZA	12
1.2.2 TESSITURA	12
1.2.3 REGOLARITÀ LONGITUDINALE	13
1.2.4 MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE	13
1.2.5 CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ	14
1.2.6 FATTORI AMBIENTALI	14
1.2.7 DATI DI TRAFFICO	15
1.2.8 PRESTAZIONI ACUSTICHE	18
2. SITO DI FIRENZE	22
2.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE	22
2.1.1 STRATO DI USURA TIPO GAP GRADED	22
2.1.2 STRATO DI BINDER IN C.B. CONFEZIONATO A TIEPIDO	25
2.1.3 STRATO DI BASE IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO	29
2.2 MONITORAGGIO – PROVE IN SITO	33
2.2.1 ADERENZA	33
2.2.2 TESSITURA	33
2.2.3 REGOLARITÀ LONGITUDINALE	34
2.2.4 MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE	34
2.2.5 FATTORI AMBIENTALI	35
2.2.6 DATI DI TRAFFICO	36
2.2.7 PRESTAZIONI ACUSTICHE	38
3. SITO DI LUCCA	43
3.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE	43
3.1.1 STRATO DI USURA A TESSITURA OTTIMIZZATA TIPO DENSE GRADED	43
3.1.2 STRATO DI BINDER IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO	46
3.1.3 STRATO DI BASE IN C.B. RICICLATO A FREDDO CON EMULSIONE E CEMENTO	50
3.2 MONITORAGGIO – PROVE IN SITO	53
3.2.1 ADERENZA	53
3.2.2 TESSITURA	53
3.2.3 REGOLARITÀ LONGITUDINALE	54
3.2.4 MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE	54
3.2.5 FATTORI AMBIENTALI	56
3.2.6 DATI DI TRAFFICO	57
3.2.7 PRESTAZIONI ACUSTICHE	59
4. SITO DI PISTOIA	64
4.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE	64



4.1.1	MANTO DI USURA GAP GRADED CONFEZIONATO CON BITUME MODIFICATO MEDIANTE L'AGGIUNTA DI POLIMERI SBR/NR SECONDO PROCESSO WET.....	64
4.1.2	STRATO DI BINDER GAP GRADED CONFEZIONATO CON BITUME MODIFICATO MEDIANTE L'AGGIUNTA DI POLIMERI SBR/NR SECONDO PROCESSO WET.....	67
4.1.3	STRATO DI BASE IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO.....	71
4.2	MONITORAGGIO – PROVE IN SITO.....	75
4.2.1	ADERENZA.....	75
4.2.2	TESSITURA.....	75
4.2.3	REGOLARITÀ LONGITUDINALE.....	76
4.2.4	MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE.....	76
4.2.5	FATTORI AMBIENTALI.....	78
4.2.6	DATI DI TRAFFICO.....	79
4.2.7	PRESTAZIONI ACUSTICHE.....	81
5.	SITO DI PISA.....	86
5.1	CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE.....	86
5.1.1	MANTO DI USURA REALIZZATO CON CONGLOMERATO BITUMINOSO TIPO DENSE GRADED CON ARGILLA ESPANSA.....	86
5.1.2	STRATO DI BINDER IN C.B. AD ELEVATA DURATA A FATICA.....	89
5.1.3	STRATO DI BASE OTTENUTI DA STABILIZZAZIONE CON BITUME SCHIUMATO E CEMENTO DI MATERIALI PROVENIENTI DALLA PAVIMENTAZIONE ESISTENTE.....	93
5.2	MONITORAGGIO – PROVE IN SITO.....	96
5.2.1	ADERENZA.....	96
5.2.2	TESSITURA.....	96
5.2.3	REGOLARITÀ LONGITUDINALE.....	97
5.2.4	MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE.....	97
5.2.5	FATTORI AMBIENTALI.....	99
5.2.6	DATI DI TRAFFICO.....	100
5.2.7	PRESTAZIONI ACUSTICHE.....	102
6.	SITO DI MASSA CARRARA.....	106
6.1	CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE.....	106
6.1.1	MANTO DI USURA SPECIALE TIPO MICROTAPPETO.....	106
6.1.2	STRATO DI BINDER IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO.....	109
6.1.3	STRATO DI BASE IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO.....	113
6.2	MONITORAGGIO – PROVE IN SITO.....	117
6.2.1	ADERENZA.....	117
6.2.2	TESSITURA.....	117
6.2.3	REGOLARITÀ LONGITUDINALE.....	118
6.2.4	FATTORI AMBIENTALI.....	119
6.2.5	DATI DI TRAFFICO.....	120
6.2.6	PRESTAZIONI ACUSTICHE.....	122

1. SITO DI AREZZO

Localizzazione del sito	SRT 71 Umbro Casentinese dal km 156+866 al km 157+044 Loc. Marcena
Tipologia	SITO COLLINARE (260 m s.l.m.)



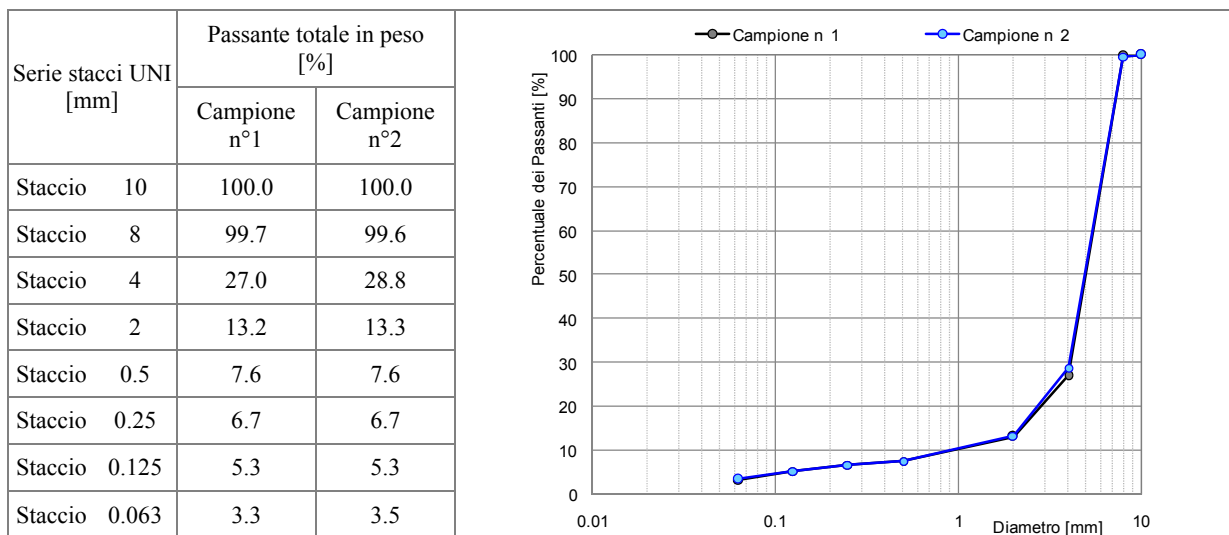
Composizione della sovrastruttura

STRATO	SPESSORE	MATERIALE
USURA	5 cm	Manto di usura speciale realizzato con conglomerato bituminoso tipo open graded + SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer)
BINDER	6 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo
BASE	12 cm	Strato di base realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo

1.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE

1.1.1 STRATO DI USURA TIPO OPEN GRADED

Curva granulometrica

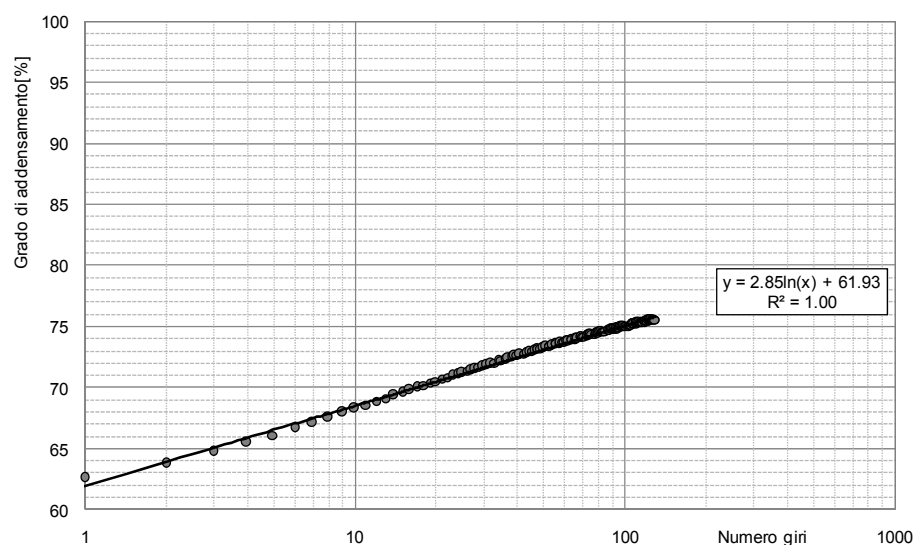


Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.0		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.2		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.492		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	1.810	1.807	1.808
Volume di bitume (V_b)	%	6.6	6.6	6.6
Volume dei vuoti (V_v)	%	27.4	27.5	27.4
Volume dell'aggregato (V_G)	%	66.0	65.9	66.0
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	34.0	34.1	34.0
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	19.4	19.3	19.4

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=50$	$N_{maximum}=130$
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.0		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.2		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.492		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	1.701	1.825	1.882
Volume di bitume (V_b)	%	6.2	6.7	6.9
Volume dei vuoti (V_v)	%	31.7	26.7	24.5
Volume dell'aggregato (V_G)	%	62.1	66.6	68.7
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	37.9	33.4	31.3
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	16.3	19.9	21.9



Curva di addensamento della miscela



Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	3.23	3.45	3.45	3.38
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.62	1.63	1.6	1.62
Resistenza a trazione indiretta ITS _{dry}	N/mm ²	0.42	0.47	0.46	0.45
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0162	0.0163	0.0160	0.0162
Coefficiente di trazione indiretta CTI _{dry}	N/mm ²	40.69	45.03	44.92	43.5

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

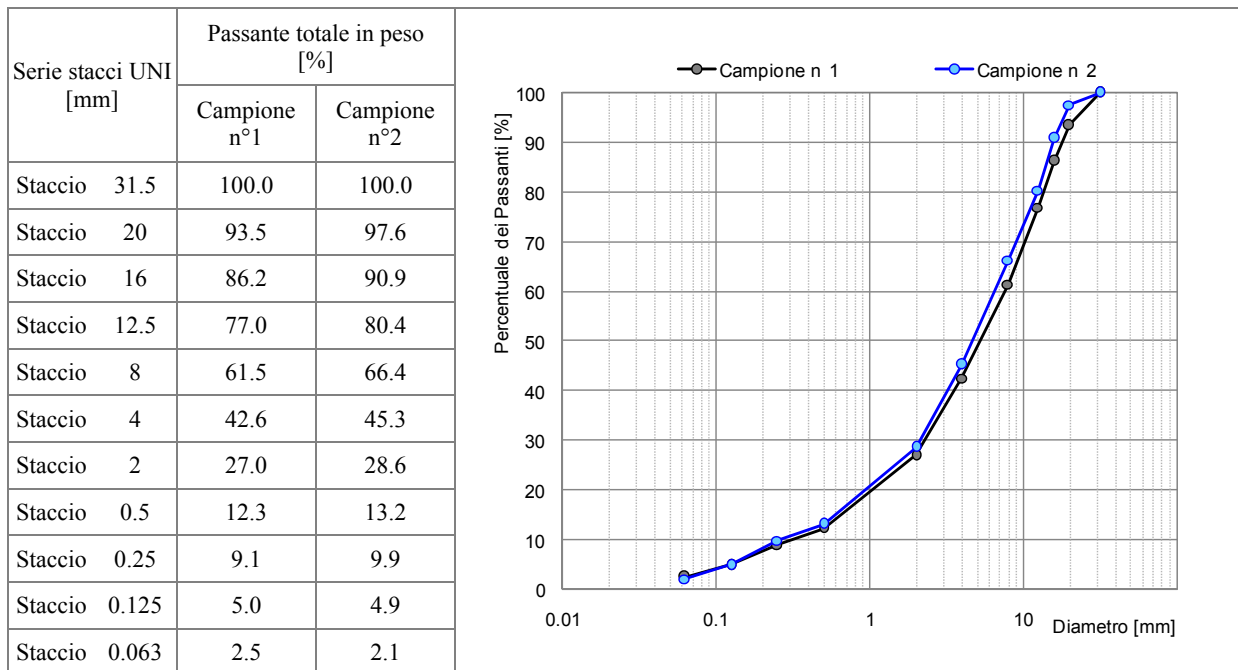
CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	3.51	3.28	3.22	3.34
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.92	2.21	1.68	1.94
Resistenza a trazione indiretta ITS _{wet}	N/mm ²	0.41	0.42	0.4	0.41
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0192	0.0221	0.0168	0.0194
Coefficiente di trazione indiretta CTI _{wet}	N/mm ²	33.54	29.68	37.58	33.6
Rapporto di resistenza a trazione indiretta ITSR	%	91			

Moduli di rigidezza della miscela a 20°C e rise-time=125 ms

	Periodo di ripetizione del carico [ms]	Rise-time [ms]	Temperature di prova [°C]	Modulo di rigidezza M _R [MPa]
Campione n°1	3000±100	125±4	20	2537
Campione n°2	3000±100	125±4	20	2248
Modulo di rigidezza medio M _R [MPa]				2393

1.1.2 STRATO DI BINDER IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO

Curva granulometrica



Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

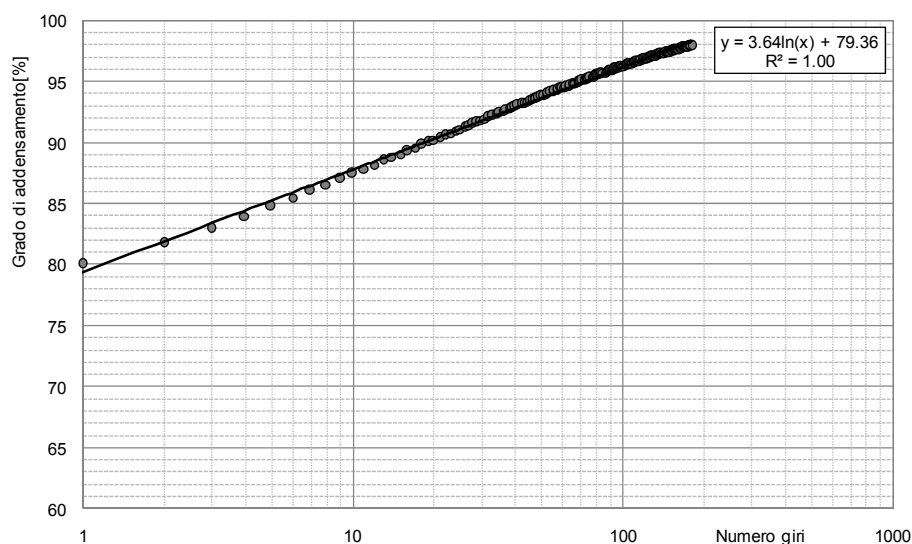
CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.6		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.8		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.474		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.159	2.189	2.174
Volume di bitume (V_b)	%	8.6	8.7	8.7
Volume dei vuoti (V_v)	%	12.7	11.5	12.1
Volume dell'aggregato (V_G)	%	78.7	79.7	79.2
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	21.3	20.3	20.8
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	40.3	43.1	41.7

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=50$	$N_{maximum}=130$
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.0		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.2		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.492		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	1.701	1.825	1.882
Volume di bitume (V_b)	%	6.2	6.7	6.9

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=50$	$N_{maximum}=130$
Volume dei vuoti (V_v)	%	31.7	26.7	24.5
Volume dell'aggregato (V_G)	%	62.1	66.6	68.7
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	37.9	33.4	31.3
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	16.3	19.9	21.9



Curva di addensamento della miscela

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	18.12	17.69	15.36	17.06
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.50	1.97	2.87	2.11
Resistenza a trazione indiretta ITS_{dry}	N/mm ²	1.33	1.27	1.11	1.24
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0100	0.0131	0.0191	0.0141
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{dry}	N/mm ²	208.3	152.2	90.7	150.4

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	15.55	16.47	13.55	15.19
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.29	1.62	2.24	1.72
Resistenza a trazione indiretta ITS_{wet}	N/mm ²	1.14	1.16	0.94	1.08
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0086	0.0108	0.0149	0.0114
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{wet}	N/mm ²	207.8	166.7	98.4	157.6
Rapporto di resistenza a trazione indiretta $ITSR$	%	87			

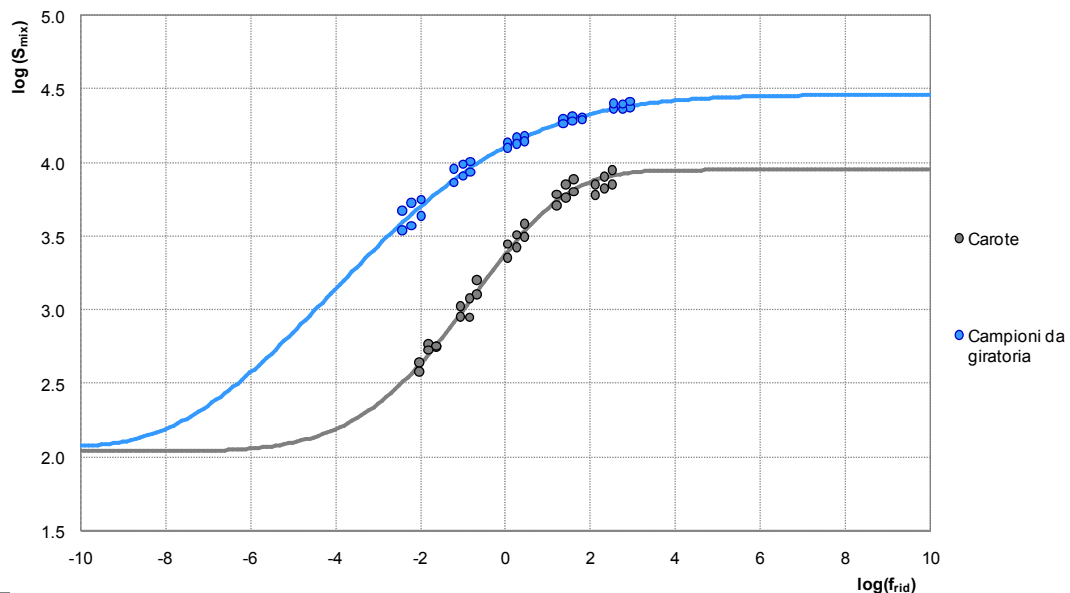
Caratteristiche di rigidità della miscela

Moduli di rigidità alle varie temperature e frequenze

TEMPERATURA [°C]	FREQUENZA [MPa]	Moduli di Rigidità M_R [MPa]			
		CAMPIONI DA GIRATORIA		CAROTE	
		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°1	Campione n°2
2	2.8	26286	23431	7035	8844
	1.8	25272	23150	6590	7960
	1.1	24799	22869	5980	7038
10	2.8	19745	20528	6379	7659
	1.8	19263	20272	5749	7013
	1.1	18521	19646	5072	6125
20	2.8	13762	15000	3085	3784
	1.8	13304	14657	2623	3267
	1.1	12391	13585	2225	2819
30	2.8	8724	10258	1251	1576
	1.8	8161	9855	895	1176
	1.1	7370	8963	890	1047
40	2.8	4275	5672	552	570
	1.8	3758	5296	578	540
	1.1	3408	4673	435	375

Curve maestre

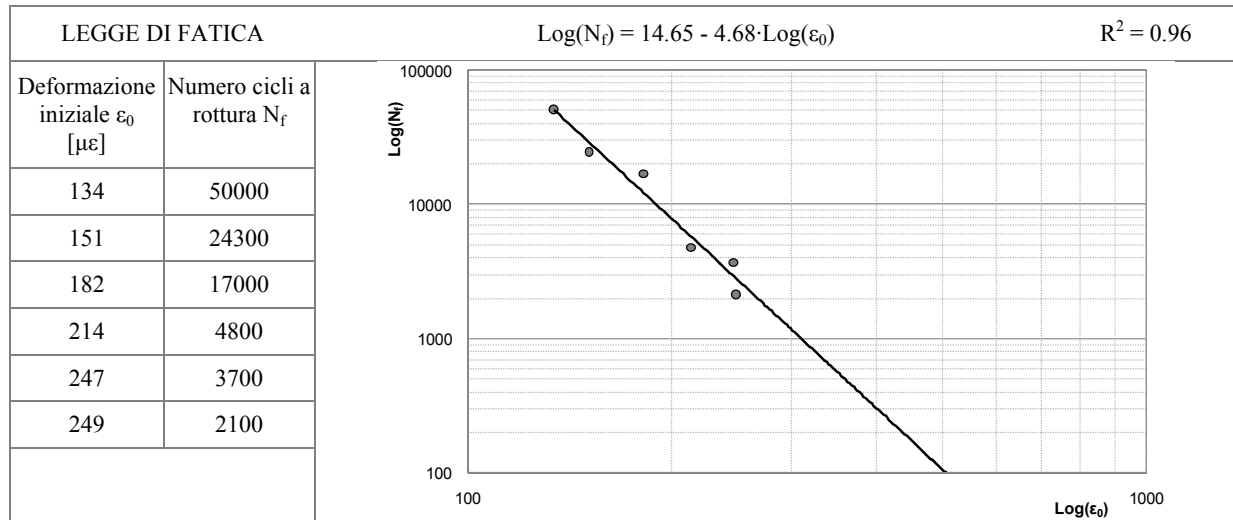
PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE CURVE MAESTRE					
	S_{max} [MPa]	S_{min} [MPa]	β	γ	ΔH [J/mole]
Campioni da giratoria	28840	120	7.55	2.30	214
Carote	8913	110	9.65	5.27	188



Moduli di Rigidità M_R [MPa]									
Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	2	10	1	2	10	1	2	10
Campioni da giratoria	23862	24637	26087	18824	20039	22533	12796	14177	17336
Carote	8107	8422	8791	5411	6219	7716	2390	3048	4897

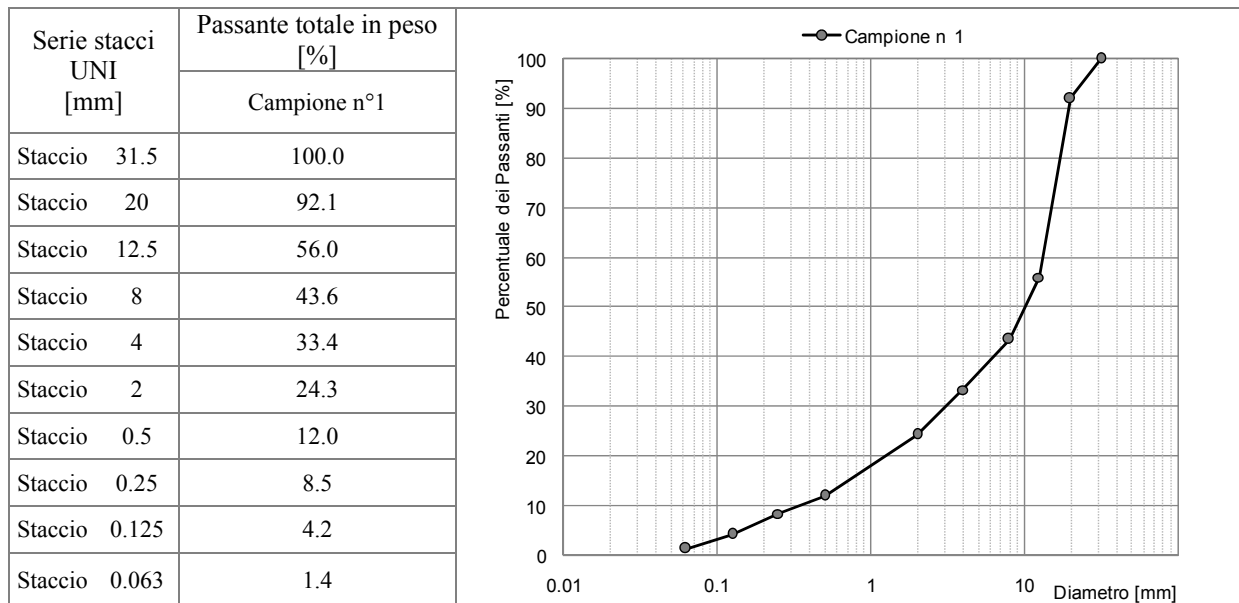


Legge di fatica



1.1.3 STRATO DI BASE IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO

Curva granulometrica



Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

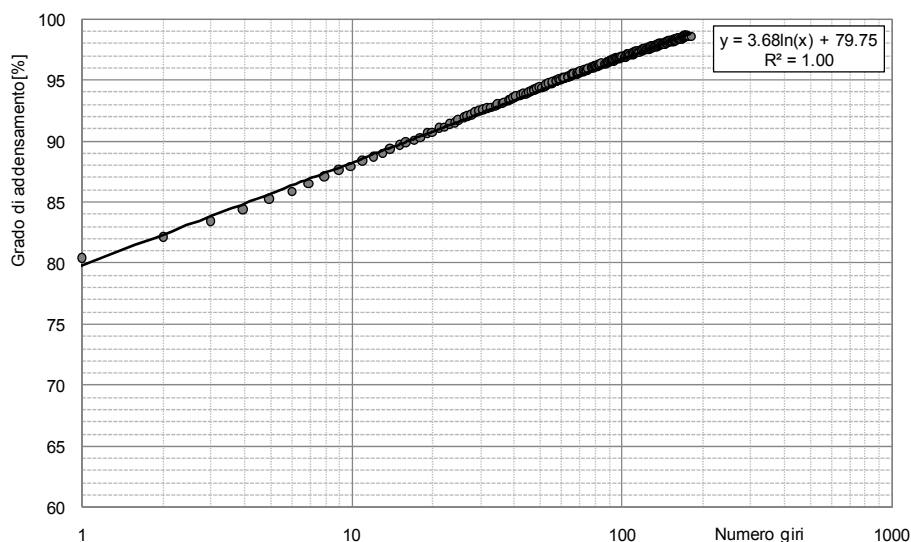
CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	3.9		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.1		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.506		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.331	2.301	2.316
Volume di bitume (V_b)	%	8.1	8.0	8.0
Volume dei vuoti (V_v)	%	7.0	8.2	7.6
Volume dell'aggregato (V_G)	%	84.9	83.8	84.4
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	15.1	16.2	15.6
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	53.7	49.3	51.5

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=100$	$N_{maximum}=180$
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	3.9		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.1		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.506		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.204	2.427	2.471
Volume di bitume (V_b)	%	7.7	8.4	8.6
Volume dei vuoti (V_v)	%	12.1	3.2	1.4
Volume dell'aggregato (V_G)	%	80.3	88.4	90.0

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{\text{initial}}=10$	$N_{\text{design}}=100$	$N_{\text{maximum}}=180$
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	19.7	11.6	10.0
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	38.8	72.6	85.8



Curva di addensamento della miscela

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	20.59	19.88	21.12	20.53
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.90	1.98	1.92	1.93
Resistenza a trazione indiretta ITS_{dry}	N/mm ²	1.41	1.38	1.45	1.41
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0127	0.0132	0.0128	0.0129
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{dry}	N/mm ²	174.8	164.6	177.4	172.3

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	15.41	16.13	14.91	15.48
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.50	1.73	2.89	2.04
Resistenza a trazione indiretta ITS_{wet}	N/mm ²	1.13	1.16	1.06	1.12
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0100	0.0115	0.0193	0.0136
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{wet}	N/mm ²	177.1	158.0	86.0	140.4
Rapporto di resistenza a trazione indiretta $ITSR$	%	79.0			

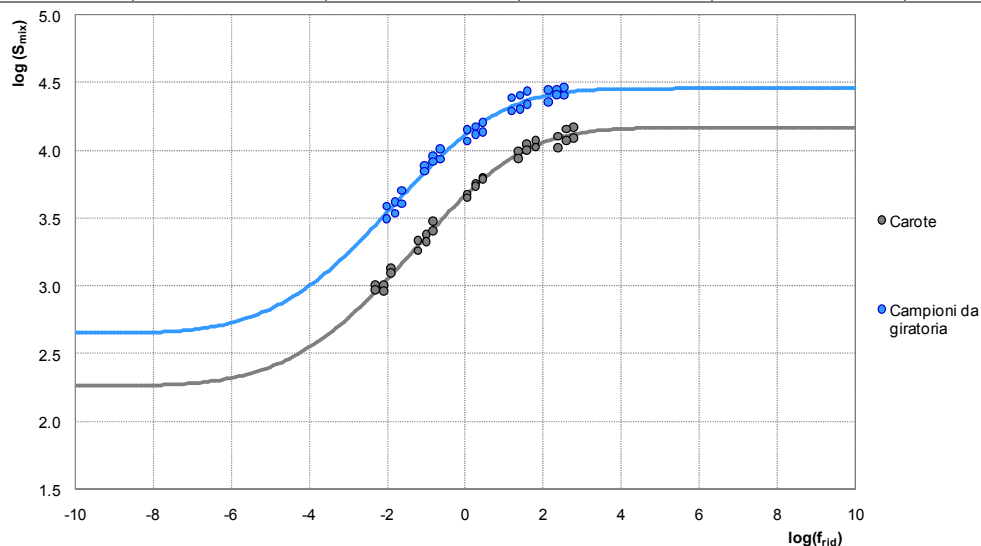
Caratteristiche di rigidità della miscela

Moduli di rigidità alle varie temperature e frequenze

TEMPERATURA [°C]	FREQUENZA [MPa]	Moduli di Rigidità M_R [MPa]			
		CAMPIONI DA GIRATORIA		CAROTE	
		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°1	Campione n°2
2	2.8	28699	25720	14711	12196
	1.8	27755	25383	14520	11656
	1.1	27746	22598	12840	10366
10	2.8	26963	21520	11774	10669
	1.8	25731	19922	10949	9991
	1.1	24626	19672	9797	8657
20	2.8	15831	13528	6419	6052
	1.8	15120	13040	5590	5354
	1.1	14114	11810	4791	4512
30	2.8	10121	8682	2971	2527
	1.8	8939	8331	2370	2100
	1.1	7621	7088	2129	1840
40	2.8	5116	4080	1339	1225
	1.8	4143	3463	1004	907
	1.1	3927	3075	1003	930

Curve maestre

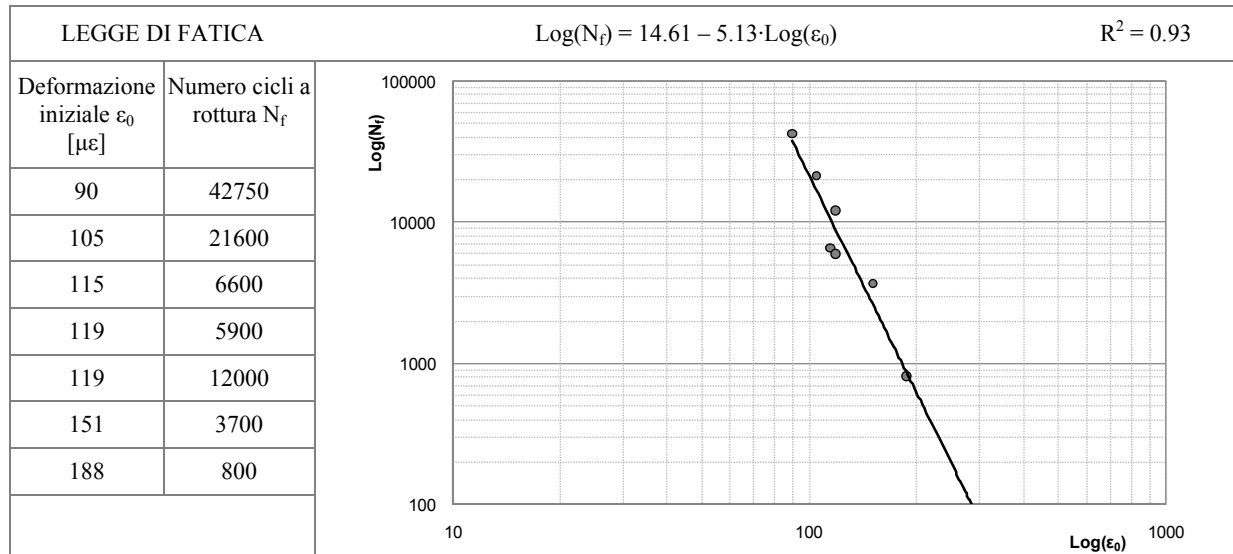
PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE CURVE MAESTRE					
	S_{max} [MPa]	S_{min} [MPa]	β	γ	ΔH [J/mole]
Campioni da giratoria	28601	451	8.81	4.02	181
Carote	14711	184	9.33	4.16	214



Moduli di Rigidità M_R [MPa]									
Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	2	10	1	2	10	1	2	10
Campioni da giratoria	26293	27026	28031	20781	22522	25601	13009	15106	19900
Carote	13227	13676	14317	9305	10333	12322	4646	5591	8054

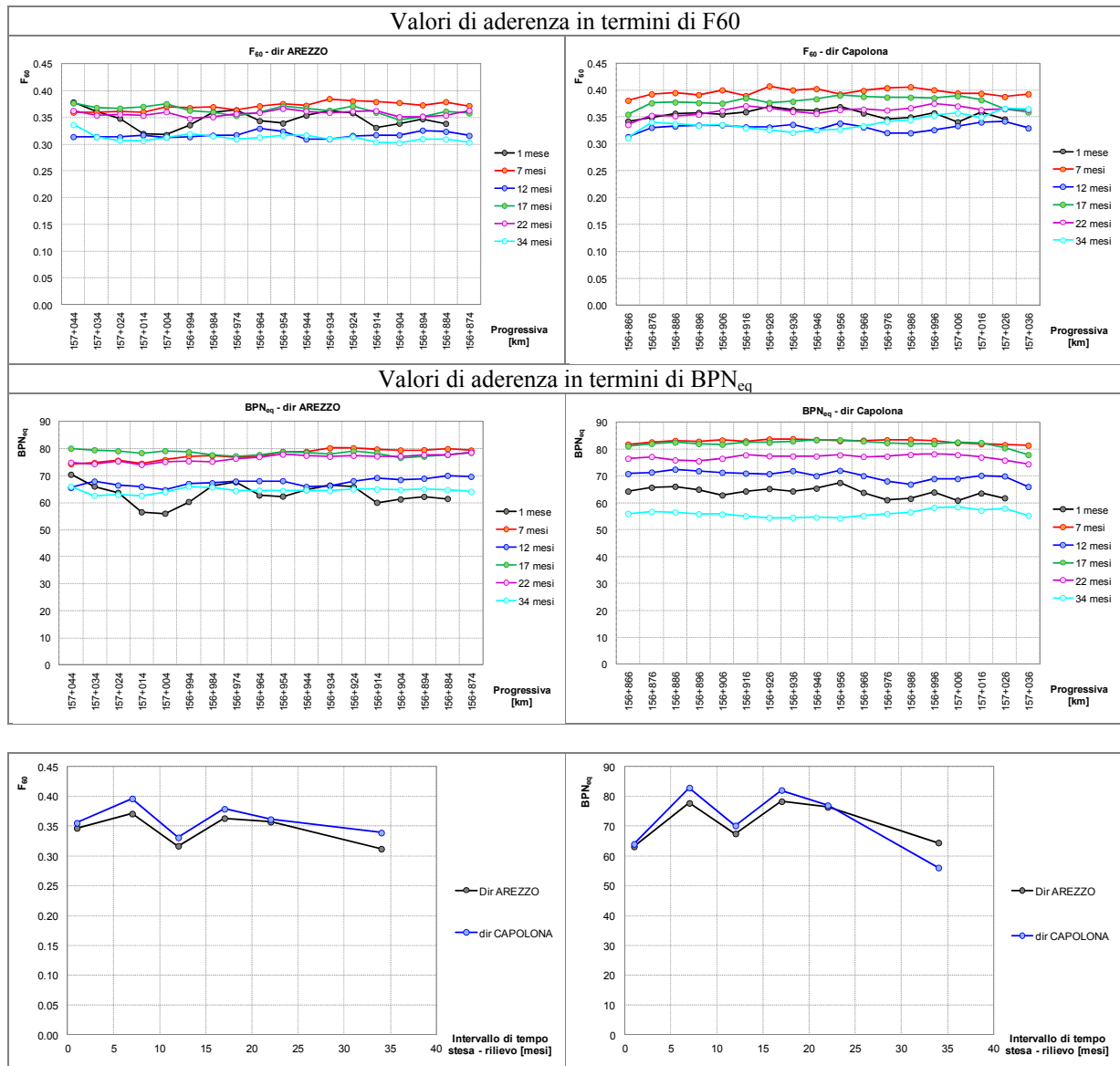


Resistenza a fatica

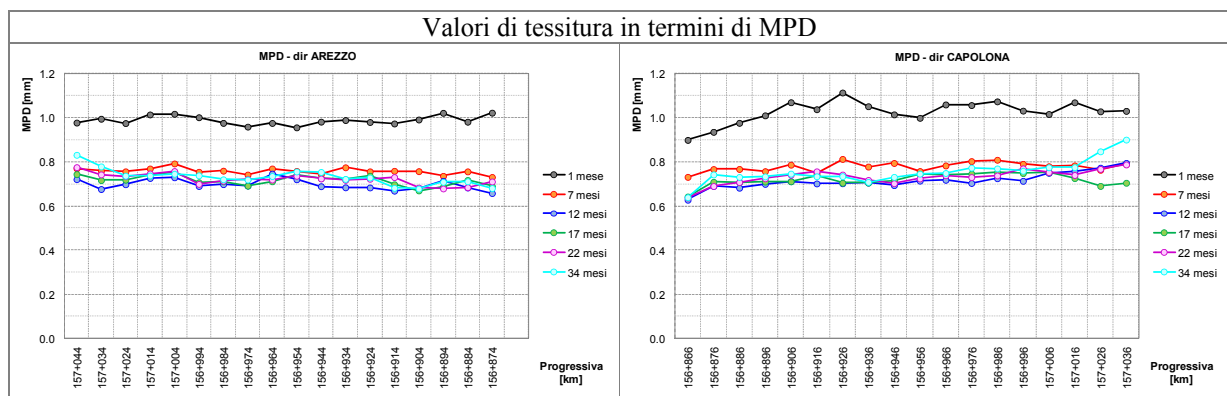


1.2 MONITORAGGIO – PROVE IN SITO

1.2.1 ADERENZA

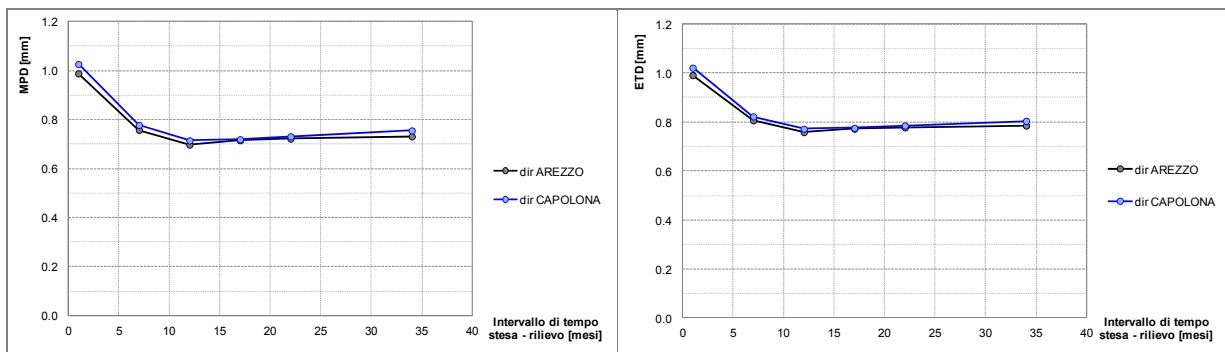
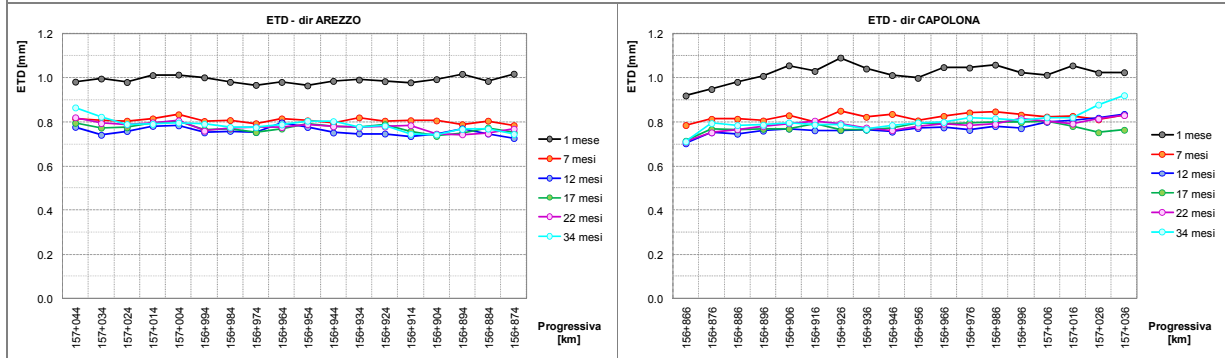


1.2.2 TESSITURA

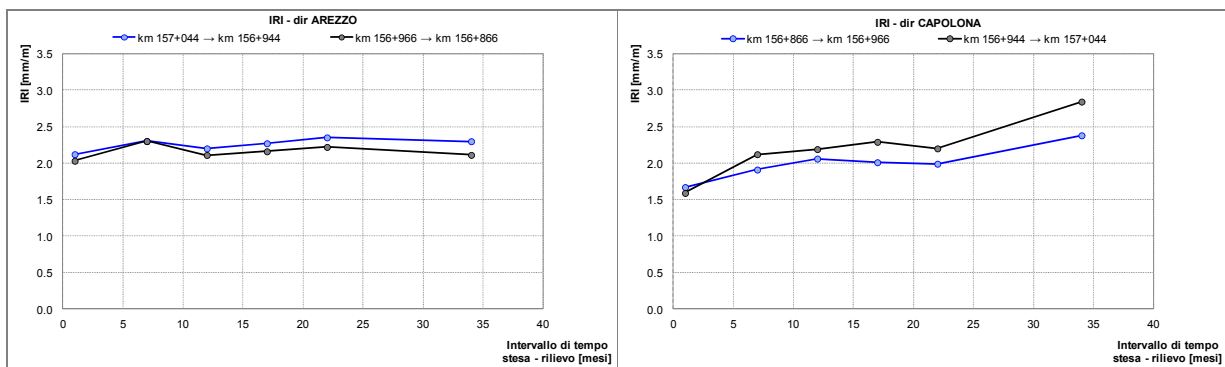


Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

Valori di tessitura in termini di ETD

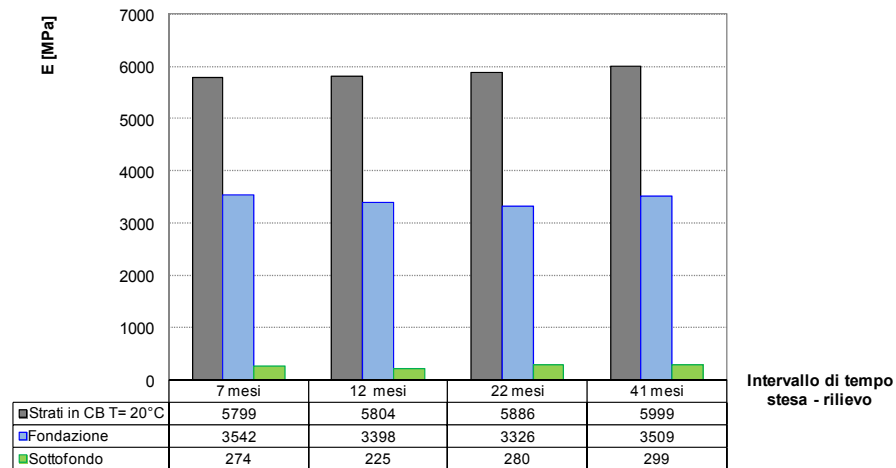


1.2.3 REGOLARITÀ LONGITUDINALE



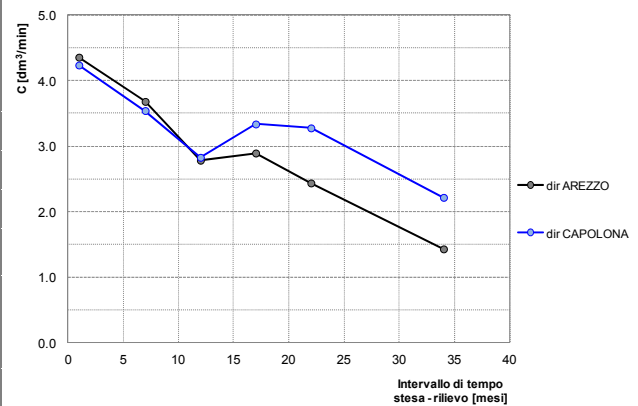
1.2.4 MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE

Intervallo di tempo stesa - rilievo	E ₁ – strati in conglomerato bituminoso a T=20 °C	E ₂ – strato di fondazione in misto granulare	E ₃ – terreno di sottofondo
7 mesi	5799	3542	274
12 mesi	5804	3398	225
22 mesi	5886	3326	280
41 mesi	5999	3509	299
Media	5872	3444	270
Dev St	94	100	32
COV [%]	1.6	2.9	11.7



1.2.5 CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ

C – Capacità drenante [dm ³ /min]						
Direzione AREZZO						
	Intervallo di tempo stesa-rilievo					
	1 mese	7 mesi	12 mesi	17 mesi	22 mesi	34 mesi
Media	4.4	3.7	2.8	2.9	2.4	1.4
Dev St	0.25	0.22	0.56	0.57	0.49	0.42
COV [%]	5.7	5.9	20.0	19.8	20.1	29.1
Direzione CAPOLONA						
	Intervallo di tempo stesa-rilievo					
	1 mese	7 mesi	12 mesi	17 mesi	22 mesi	34 mesi
Media	4.2	3.5	2.8	3.3	3.3	2.2
Dev St	0.38	0.82	0.78	0.77	0.59	0.31
COV [%]	8.9	23.1	27.5	23.0	17.9	13.9

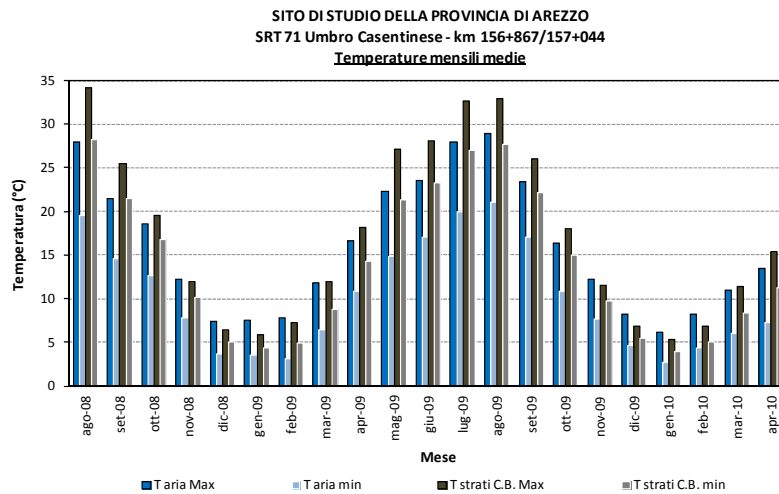


1.2.6 FATTORI AMBIENTALI

ANNO	2008						2009						2010					
MESE	TEMPERATURA dell'ARIA			TEMPERATURA CONGLOMERATO BITUMINOSO ⁽¹⁾			TEMPERATURA dell'ARIA			TEMPERATURA CONGLOMERATO BITUMINOSO ⁽¹⁾			TEMPERATURA dell'ARIA			TEMPERATURA CONGLOMERATO BITUMINOSO ⁽¹⁾		
	max	min	media	max	min	media	max	min	media	max	min	media	max	min	media	max	min	media
Gennaio	-	-	-	-	-	-	7.5	3.5	5.4	5.9	4.3	5.1	6.2	2.7	4.4	5.3	3.9	4.6
Febbraio	-	-	-	-	-	-	7.8	3.1	5.3	7.2	4.9	6.0	8.2	4.4	6.2	6.8	5.0	5.9
Marzo	-	-	-	-	-	-	11.8	6.4	9.0	11.9	8.7	10.2	10.9	6.0	8.4	11.4	8.4	9.8
Aprile	-	-	-	-	-	-	16.6	10.8	13.7	18.1	14.2	16.0	13.4	7.2	10.3	15.3	11.3	13.2
Maggio	-	-	-	-	-	-	22.3	14.9	18.6	27.1	21.4	24.2	-	-	-	-	-	-
Giugno	-	-	-	-	-	-	23.6	17.1	20.2	28.1	23.2	25.6	-	-	-	-	-	-
Luglio	-	-	-	-	-	-	27.9	20.0	23.9	32.6	27.0	29.7	-	-	-	-	-	-
Agosto	27.9	19.5	23.6	34.2	28.3	31.0	28.9	21.1	24.9	32.9	27.7	30.1	-	-	-	-	-	-
Settembre	21.5	14.6	18.0	25.5	21.4	23.3	23.4	17.1	20.3	26.0	22.1	23.9	-	-	-	-	-	-
Ottobre	18.6	12.6	15.5	19.6	16.7	18.0	16.4	10.8	13.6	18.0	15.0	16.3	-	-	-	-	-	-
Novembre	12.2	7.7	10.0	11.9	10.2	11.0	12.2	7.7	9.9	11.5	9.7	10.6	-	-	-	-	-	-
Dicembre	7.4	3.6	5.5	6.5	5.1	5.7	8.2	4.6	6.3	6.8	5.5	6.1	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Rilevata alla profondità di 11 cm dal piano stradale

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

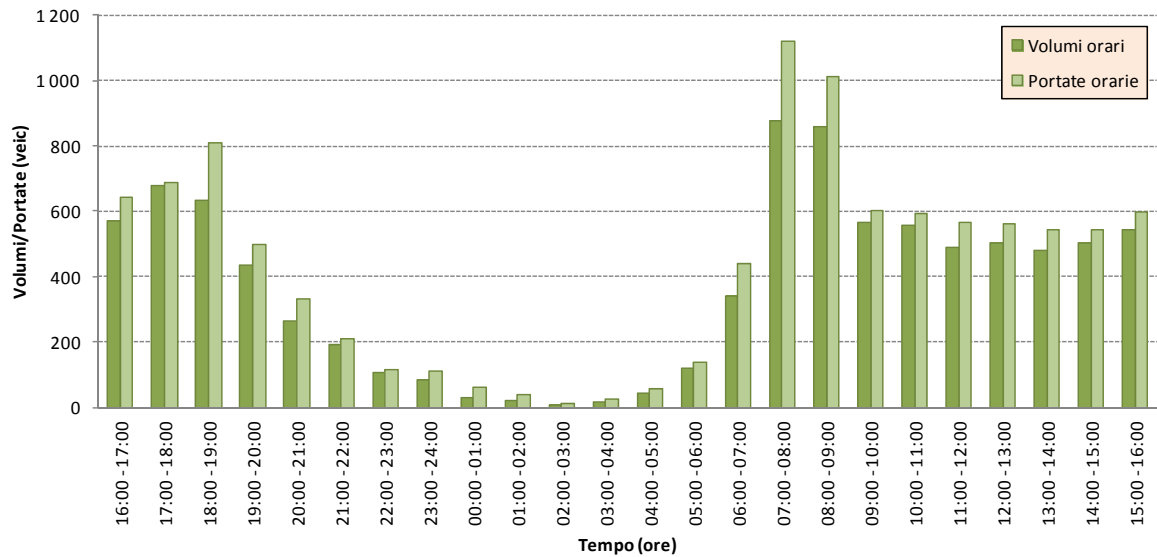


1.2.7 DATI DI TRAFFICO

GIORNO	ORA	VOLUMI ORARI	VOLUMI LEGGERI	% MEZZI PESANTI	TASSI DI FLUSSO	PHF
18/10/2011	16:00 - 17:00	570	465	18	644	0.89
	17:00 - 18:00	678	559	18	688	0.99
	18:00 - 19:00	633	517	18	808	0.78
	19:00 - 20:00	434	380	12	500	0.87
	20:00 - 21:00	264	233	12	332	0.80
	21:00 - 22:00	191	179	6	212	0.90
	22:00 - 23:00	106	97	8	116	0.91
	23:00 - 24:00	84	75	11	112	0.75
19/10/2011	00:00 - 01:00	29	28	3	64	0.45
	01:00 - 02:00	20	18	10	40	0.50
	02:00 - 03:00	6	4	33	12	0.50
	03:00 - 04:00	15	8	47	28	0.54
	04:00 - 05:00	46	19	59	56	0.82
	05:00 - 06:00	120	87	28	140	0.86
	06:00 - 07:00	340	261	23	440	0.77
	07:00 - 08:00	879	745	15	1120	0.78
	08:00 - 09:00	861	727	16	1012	0.85
	09:00 - 10:00	564	459	19	600	0.94
	10:00 - 11:00	559	431	23	592	0.94
	11:00 - 12:00	490	379	23	568	0.86
	12:00 - 13:00	503	404	20	560	0.90
	13:00 - 14:00	479	372	22	544	0.88
	14:00 - 15:00	501	400	20	544	0.92
	15:00 - 16:00	544	439	19	596	0.91
TGM		8916	7286	18.3		

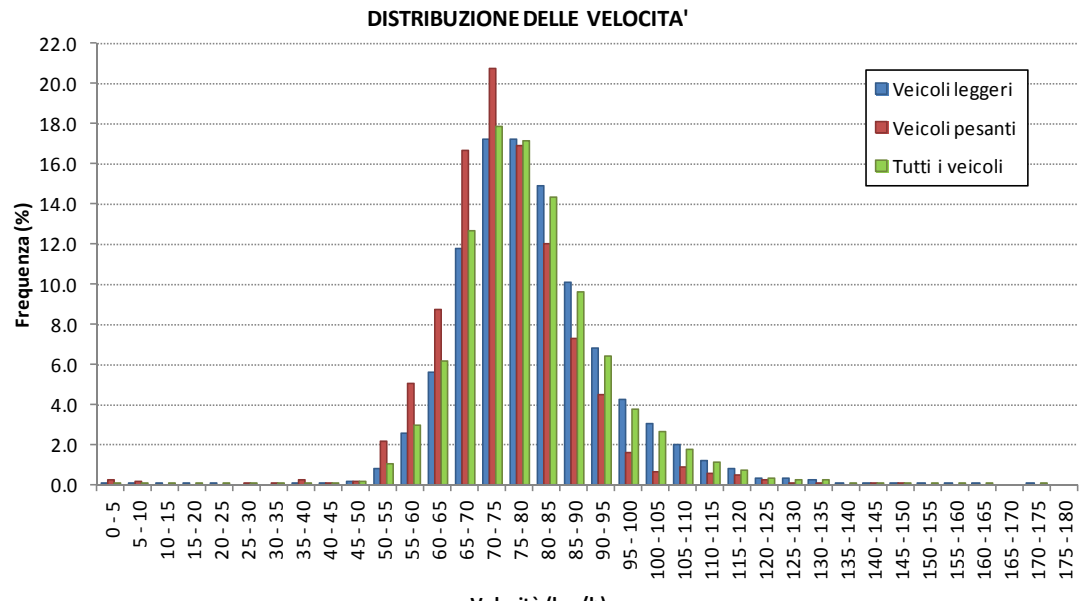
Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

VOLUMI ORARI E TASSI DI FLUSSO

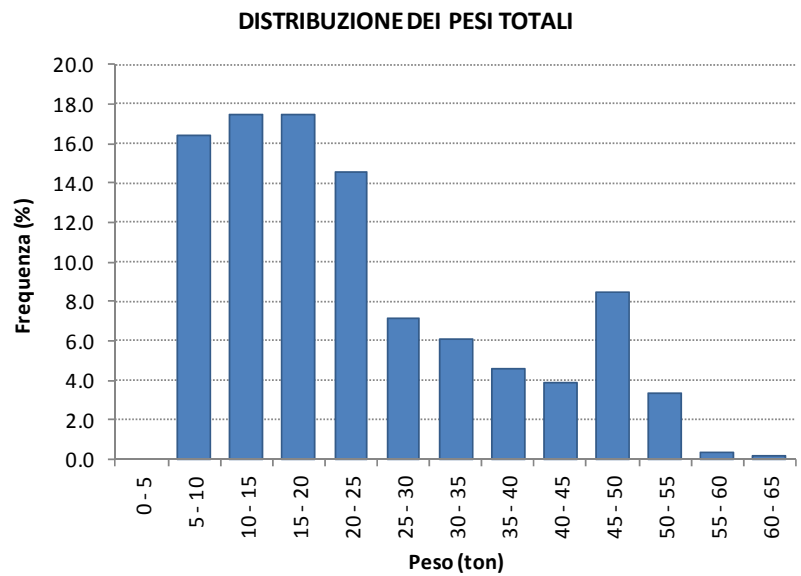


CLASSI DI VELOCITA' (km/h)	TUTTI I VEICOLI		VEICOLI LEGGERI		VEICOLI PESANTI	
	Frequenza		Frequenza		Frequenza	
	Assoluta.	%	Assoluta.	%	Assoluta.	%
0 - 5	5	0.1	1	0.0	4	0.2
5 - 10	6	0.1	3	0.0	3	0.2
10 - 15	3	0.0	3	0.0	0	0.0
15 - 20	3	0.0	3	0.0	0	0.0
20 - 25	1	0.0	1	0.0	0	0.0
25 - 30	1	0.0	0	0.0	1	0.1
30 - 35	1	0.0	0	0.0	1	0.1
35 - 40	6	0.1	2	0.0	4	0.2
40 - 45	2	0.0	1	0.0	1	0.1
45 - 50	16	0.2	13	0.2	3	0.2
50 - 55	96	1.1	61	0.8	35	2.1
55 - 60	268	3.0	185	2.5	83	5.1
60 - 65	551	6.2	409	5.6	142	8.7
65 - 70	1129	12.7	858	11.8	271	16.6
70 - 75	1594	17.9	1256	17.2	338	20.7
75 - 80	1530	17.2	1254	17.2	276	16.9
80 - 85	1279	14.3	1083	14.9	196	12.0
85 - 90	856	9.6	737	10.1	119	7.3
90 - 95	572	6.4	499	6.8	73	4.5
95 - 100	335	3.8	309	4.2	26	1.6
100 - 105	236	2.6	225	3.1	11	0.7
105 - 110	161	1.8	147	2.0	14	0.9
110 - 115	101	1.1	91	1.2	10	0.6
115 - 120	67	0.8	59	0.8	8	0.5
120 - 125	31	0.3	27	0.4	4	0.2
125 - 130	25	0.3	23	0.3	2	0.1
130 - 135	21	0.2	19	0.3	2	0.1
135 - 140	2	0.0	2	0.0	0	0.0
140 - 145	8	0.1	6	0.1	2	0.1
145 - 150	5	0.1	4	0.1	1	0.1
150 - 155	1	0.0	1	0.0	0	0.0
155 - 160	2	0.0	2	0.0	0	0.0
160 - 165	1	0.0	1	0.0	0	0.0
165 - 170	0	0.0	0	0.0	0	0.0
170 - 175	1	0.0	1	0.0	0	0.0
175 - 180	0	0.0	0	0.0	0	0.0
VELOCITA' (km/h)						
MEDIA	79.7		80.7		75.5	
DEV. ST.	13.8		13.8		13.1	
85° PERCENTILE	92.0		94.0		87.0	

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

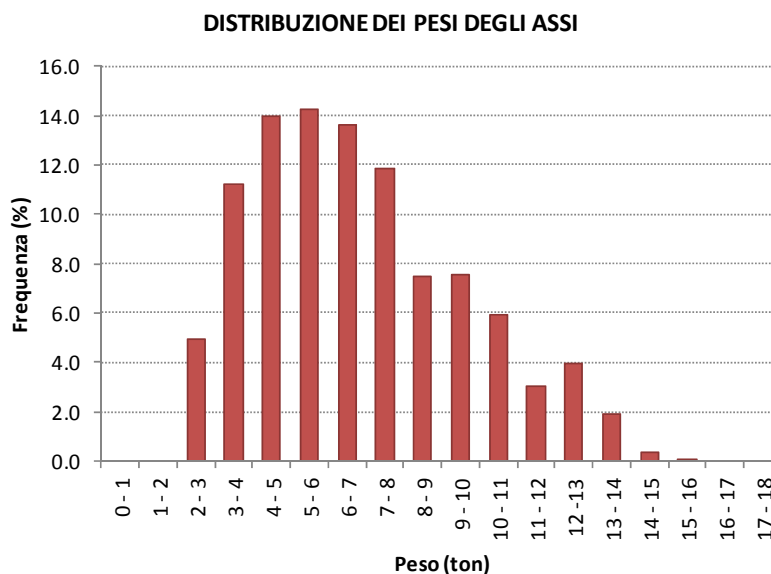


PESI TOTALI		
CLASSI DI PESO (ton)	FREQUENZA	
	Assoluta.	%
0 - 5	0	0.0
5 - 10	89	16.4
10 - 15	95	17.5
15 - 20	95	17.5
20 - 25	79	14.5
25 - 30	39	7.2
30 - 35	33	6.1
35 - 40	25	4.6
40 - 45	21	3.9
45 - 50	46	8.5
50 - 55	18	3.3
55 - 60	2	0.4
60 - 65	1	0.2



Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

PESI SINGOLI ASSI		
CLASSI DI PESO (ton)	FREQUENZA	
	Assoluta.	%
0 - 1	0	0.0
1 - 2	0	0.0
2 - 3	90	4.9
3 - 4	206	11.2
4 - 5	256	14.0
5 - 6	262	14.3
6 - 7	250	13.6
7 - 8	217	11.8
8 - 9	137	7.5
9 - 10	138	7.5
10 - 11	109	5.9
11 - 12	55	3.0
12 - 13	72	3.9
13 - 14	35	1.9
14 - 15	6	0.3
15 - 16	1	0.1
16 - 17	0	0.0
17 - 18	0	0.0
18 - 19	0	0.0
19 - 20	0	0.0

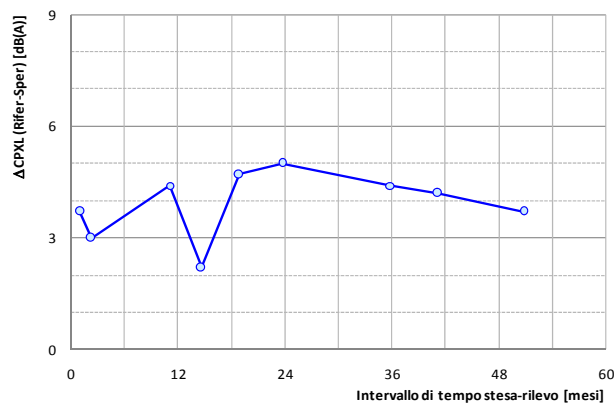
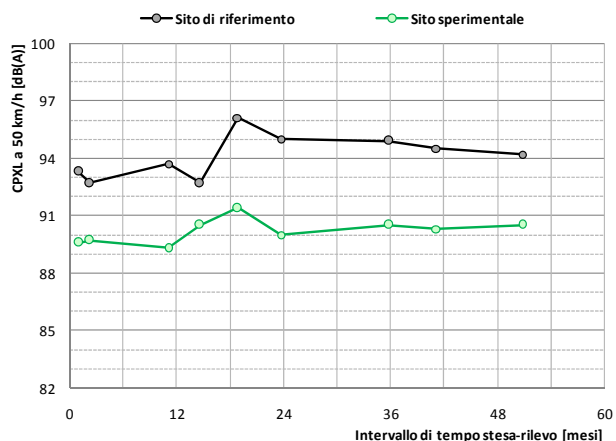


1.2.8 PRESTAZIONI ACUSTICHE

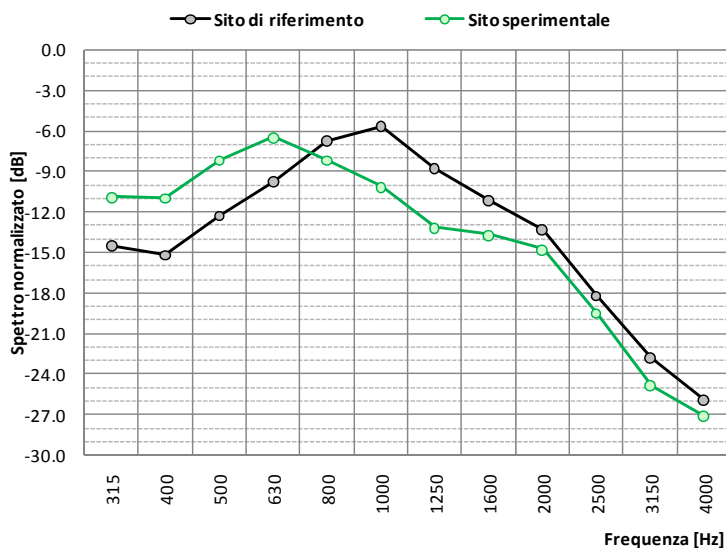
1.2.8.1 Rumore da rotolamento – CPX

Data rilevamento	Intervallo di tempo stesa-rilevamento [mesi]	Livello di rumore da rotolamento – CPXL a 50 km/h [dB(A)]		
		Sito di riferimento	Sito sperimentale	Differenza sito rifer-sito sperimentale
giugno-08	1	93.3	89.6	3.7
luglio-08	2	92.7	89.7	3.0
aprile-09	11	93.7	89.3	4.4
luglio-09	15	92.7	90.5	2.2
novembre-09	19	96.1	91.4	4.7
aprile-10	24	95.0	90.0	5.0
aprile-11	36	94.9	90.5	4.4
settembre-11	41	94.5	90.3	4.2
luglio-12	51	94.2	90.5	3.7
Media		94.1	90.2	3.9
Dev St		1.1	0.6	0.9
COV [%]		1.2	0.7	22.5

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo



Spettri normalizzati		
Frequenza [Hz]	Sito di riferimento [dB]	Sito Sperimentale [dB]
315	-14.5	-10.9
400	-15.2	-11.0
500	-12.3	-8.2
630	-9.8	-6.5
800	-6.8	-8.2
1000	-5.7	-10.2
1250	-8.8	-13.2
1600	-11.2	-13.7
2000	-13.3	-14.8
2500	-18.2	-19.5
3150	-22.8	-24.8
4000	-25.9	-27.1

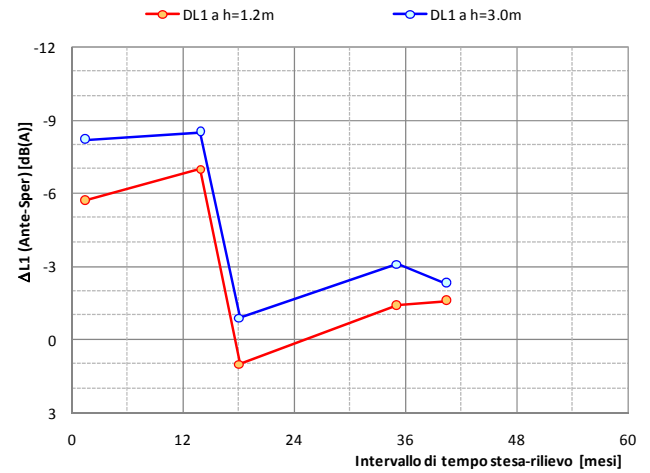
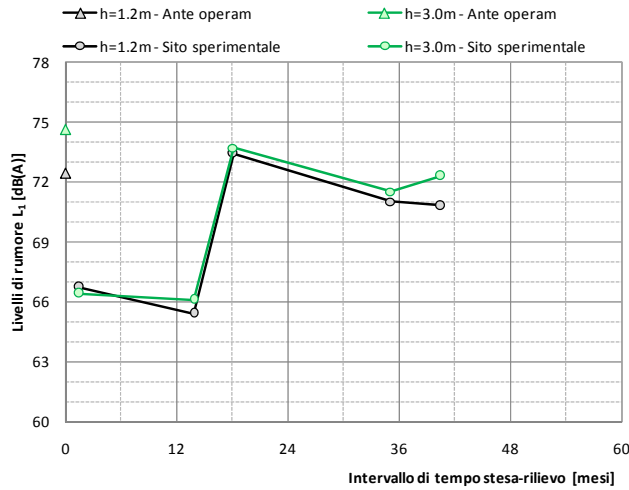


1.2.8.2 Livello di rumore a bordo strada – SPB

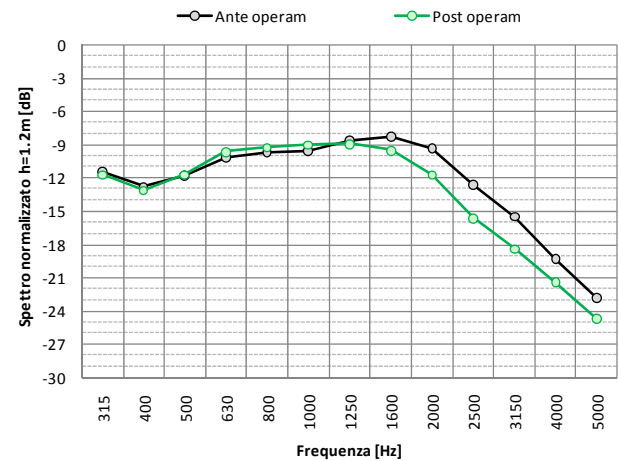
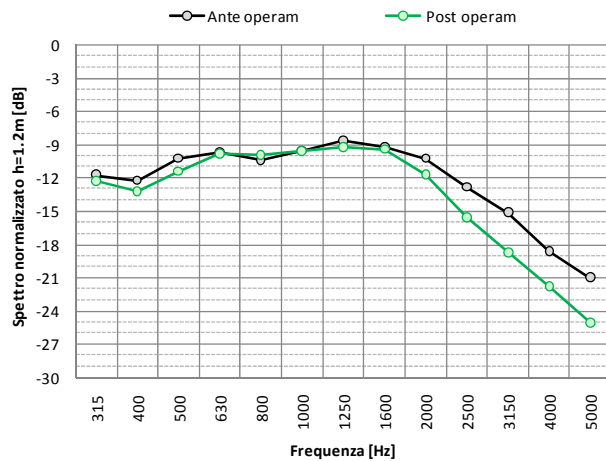
Data rilevamento	Intervallo di tempo stesa-rilevo [mesi]	Livelli di rumore L1 a 50 km/h [dB(A)]			
		L ₁ a h= 1.2 m	ΔL ₁ a h= 1.2 m	L ₁ a h= 3.0 m	ΔL ₁ a h= 3.0 m
marzo-06	Ante operam	72.4		74.6	
luglio-08	2	66.7	-5.7	66.4	-8.2
luglio-09	14	65.4	-7.0	66.1	-8.5
novembre-09	18	73.4	1.0	73.7	-0.9
aprile-11	35	71.0	-1.4	71.5	-3.1
settembre-11	40	70.8	-1.6	72.3	-2.3



Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Arezzo

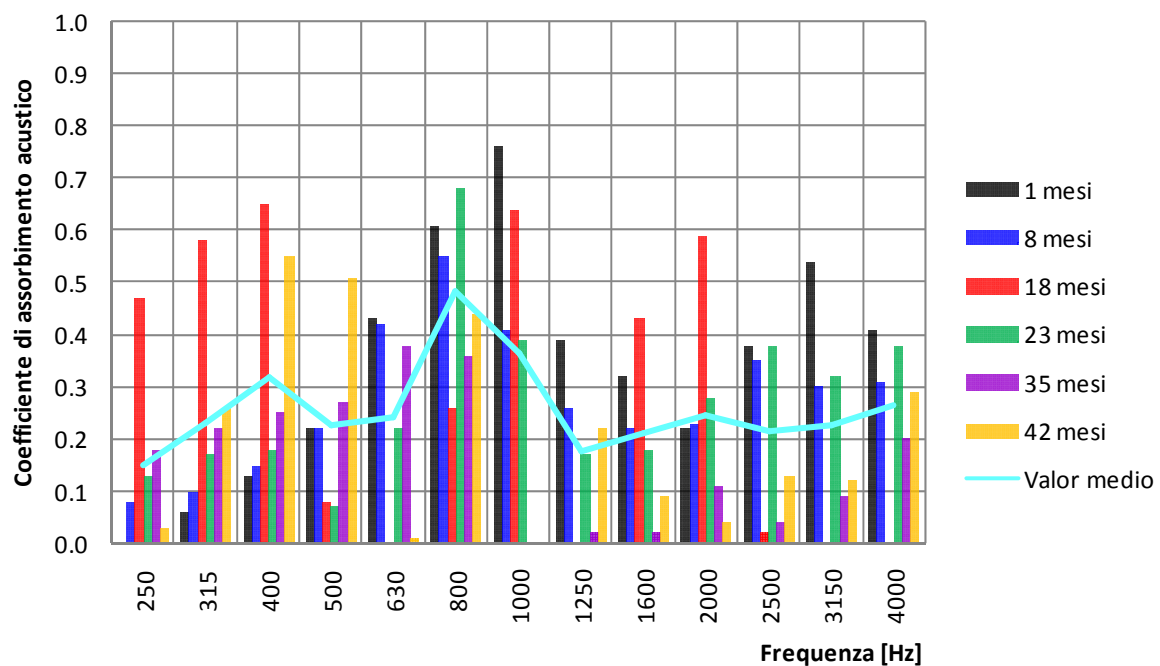


Spettri normalizzati a 50 km/h				
Frequenza [Hz]	h=1.2 m		h=3.0 m	
	Ante operam [dB]	Post operam [dB]	Ante operam [dB]	Post operam [dB]
315	-11.7	-12.3	-11.5	-11.7
400	-12.2	-13.2	-12.8	-13.1
500	-10.2	-11.4	-11.8	-11.7
630	-9.7	-9.8	-10.2	-9.6
800	-10.4	-9.9	-9.7	-9.2
1000	-9.5	-9.6	-9.6	-9.0
1250	-8.6	-9.2	-8.7	-8.9
1600	-9.2	-9.4	-8.3	-9.5
2000	-10.2	-11.7	-9.4	-11.7
2500	-12.8	-15.6	-12.6	-15.6
3150	-15.1	-18.7	-15.5	-18.4
4000	-18.6	-21.8	-19.3	-21.4
5000	-21.0	-25.1	-22.8	-24.7



1.2.8.3 Coefficiente di assorbimento acustico – metodo Adrienne

Coefficiente di assorbimento acustico							
Frequenza [Hz]	Intervallo di tempo stesa-rilievo						Valor medio
	1 mesi	8 mesi	18 mesi	23 mesi	35 mesi	42 mesi	
250	0.00	0.08	0.47	0.13	0.18	0.03	0.15
315	0.06	0.10	0.58	0.17	0.22	0.26	0.23
400	0.13	0.15	0.65	0.18	0.25	0.55	0.32
500	0.22	0.22	0.08	0.07	0.27	0.51	0.23
630	0.43	0.42	0.00	0.22	0.38	0.01	0.24
800	0.61	0.55	0.26	0.68	0.36	0.44	0.48
1000	0.76	0.41	0.64	0.39	0.00	0.00	0.37
1250	0.39	0.26	0.00	0.17	0.02	0.22	0.18
1600	0.32	0.22	0.43	0.18	0.02	0.09	0.21
2000	0.22	0.23	0.59	0.28	0.11	0.04	0.25
2500	0.38	0.35	0.02	0.38	0.04	0.13	0.22
3150	0.54	0.30	0.00	0.32	0.09	0.12	0.23
4000	0.41	0.31	0.00	0.38	0.20	0.29	0.27



2. SITO DI FIRENZE

Localizzazione del sito	SRT 302 Faentina dal km 27+304 al km 27+548 Loc. Lutiano Vecchio
Tipologia	SITO COLLINARE (244 m s.l.m.)



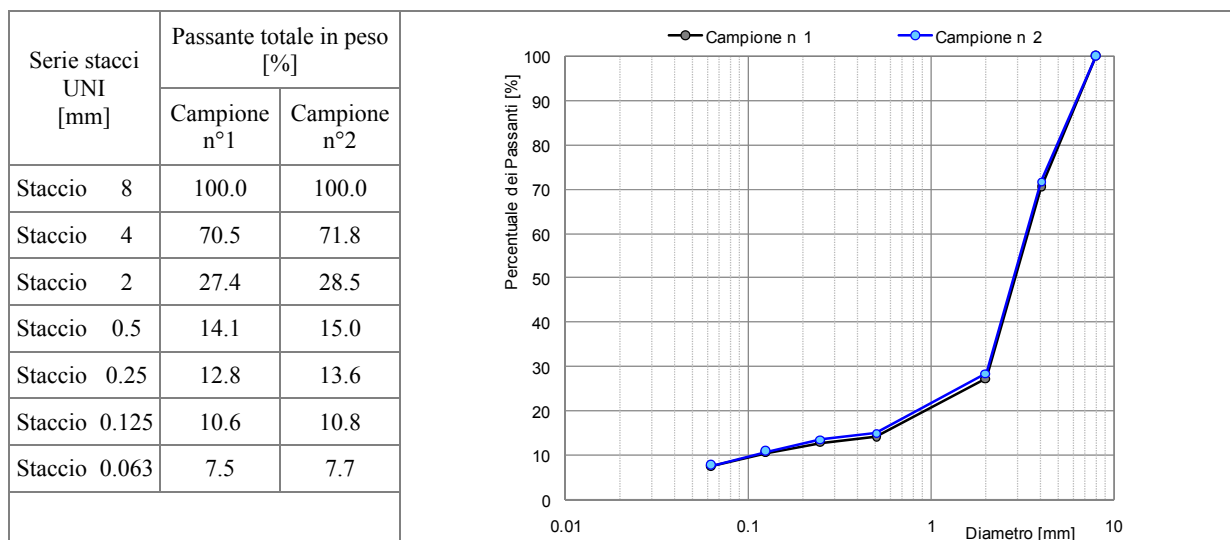
Composizione della sovrastruttura

STRATO	SPESSORE	MATERIALE
USURA	3 cm	Manto di usura speciale realizzato con conglomerato bituminoso tipo gap graded
BINDER	6 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso confezionato a tiepido
BASE	13 cm	Strato di base realizzato con conglomerato bituminoso confezionato a tiepido

2.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE

2.1.1 STRATO DI USURA TIPO GAP GRADED

Curva granulometrica

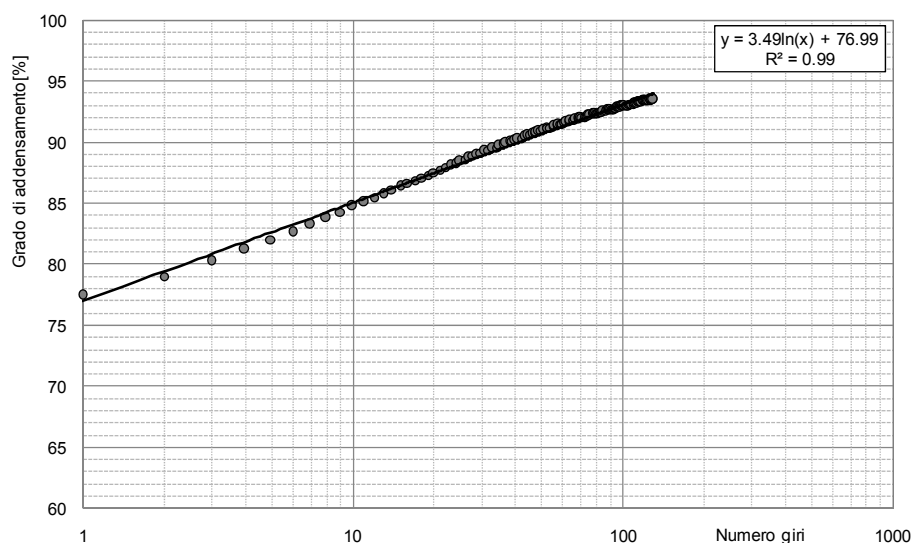


Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	6.3		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	6.8		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.402		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.120	2.169	2.144
Volume di bitume (V_b)	%	12.6	12.8	12.7
Volume dei vuoti (V_v)	%	11.7	9.7	10.7
Volume dell'aggregato (V_G)	%	75.7	77.5	76.6
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	24.3	22.5	23.4
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	51.7	57.0	54.3

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=50$	$N_{maximum}=130$
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	6.3		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	6.8		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.402		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.035	2.184	2.246
Volume di bitume (V_b)	%	12.0	12.9	13.3
Volume dei vuoti (V_v)	%	15.3	9.1	6.5
Volume dell'aggregato (V_G)	%	72.7	78.0	80.2
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	27.3	22.0	19.8
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	44.1	58.8	67.2



Curva di addensamento della miscela

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	8.16	6.84	6.16	7.05
Spostamento di compressione a rottura	mm	3.11	2.58	2.65	2.78
Resistenza a trazione indiretta ITS_{dry}	N/mm ²	1.06	0.94	0.90	0.97
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0311	0.0258	0.0265	0.0278
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{dry}	N/mm ²	53.6	57.0	50.5	53.7

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

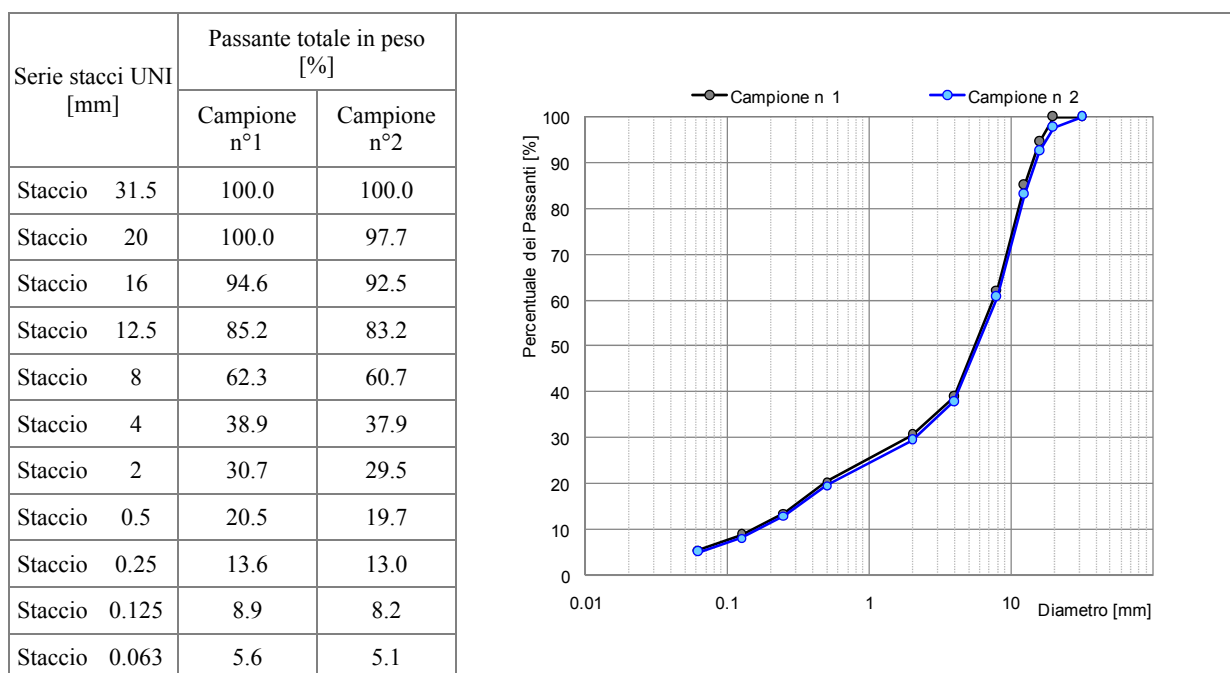
CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	7.31	5.77	6.11	6.40
Spostamento di compressione a rottura	mm	2.91	3.44	2.89	3.08
Resistenza a trazione indiretta ITS_{wet}	N/mm ²	1.01	0.95	0.93	0.96
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0291	0.0344	0.0289	0.0308
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{wet}	N/mm ²	54.6	43.6	50.3	49.5
Rapporto di resistenza a trazione indiretta $ITSR$	%	99.7			

Moduli di rigidezza della miscela a 20°C e rise-time=125 ms

	Periodo di ripetizione del carico [ms]	Rise-time [ms]	Temperature di prova [°C]	Modulo di rigidezza M_R [MPa]
Campione n°1	3000±100	125±4	20	3853
Campione n°2	3000±100	125±4	20	2930
Modulo di rigidezza medio M_R [MPa]				3392

2.1.2 STRATO DI BINDER IN C.B. CONFEZIONATO A TIEPIDO

Curva granulometrica



Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

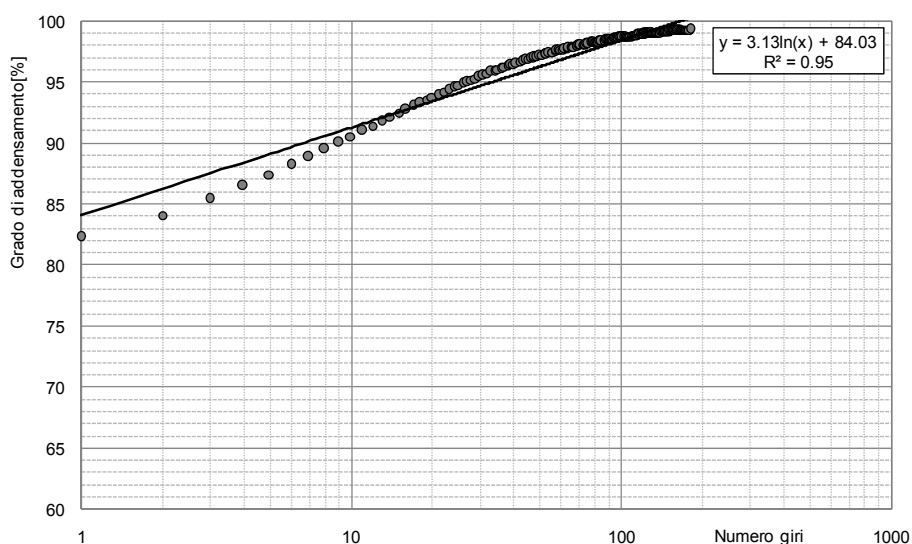
CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	5.0		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	5.2		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.434		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.387	2.393	2.390
Volume di bitume (V_b)	%	10.2	10.3	10.3
Volume dei vuoti (V_v)	%	1.9	1.7	1.8
Volume dell'aggregato (V_G)	%	87.8	88.0	87.9
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	12.2	12.0	12.1
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	84.2	85.8	85.0

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=100$	$N_{maximum}=180$
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	5.0		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	5.2		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.434		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.203	2.401	2.417
Volume di bitume (V_b)	%	9.4	10.3	10.4

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Firenze

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=100$	$N_{maximum}=180$
Volume dei vuoti (V_v)	%	9.5	1.4	0.7
Volume dell'aggregato (V_G)	%	81.1	88.4	88.9
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	18.9	11.6	11.1
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	49.9	88.4	93.8



Curva di addensamento della miscela

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	10.40	10.10	10.37	10.37
Spostamento di compressione a rottura	mm	2.88	2.54	2.73	2.73
Resistenza a trazione indiretta ITS_{dry}	N/mm ²	0.79	0.78	0.79	0.79
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0192	0.0169	0.0182	0.0182
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{dry}	N/mm ²	64.5	72.3	68.0	68.0

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	10.78	10.46	9.79	10.34
Spostamento di compressione a rottura	mm	2.81	2.64	2.73	2.73
Resistenza a trazione indiretta ITS_{wet}	N/mm ²	0.80	0.77	0.69	0.75
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0187	0.0176	0.0182	0.0182
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{wet}	N/mm ²	67.3	68.3	59.8	65.1
Rapporto di resistenza a trazione indiretta ITSR	%	95.8			

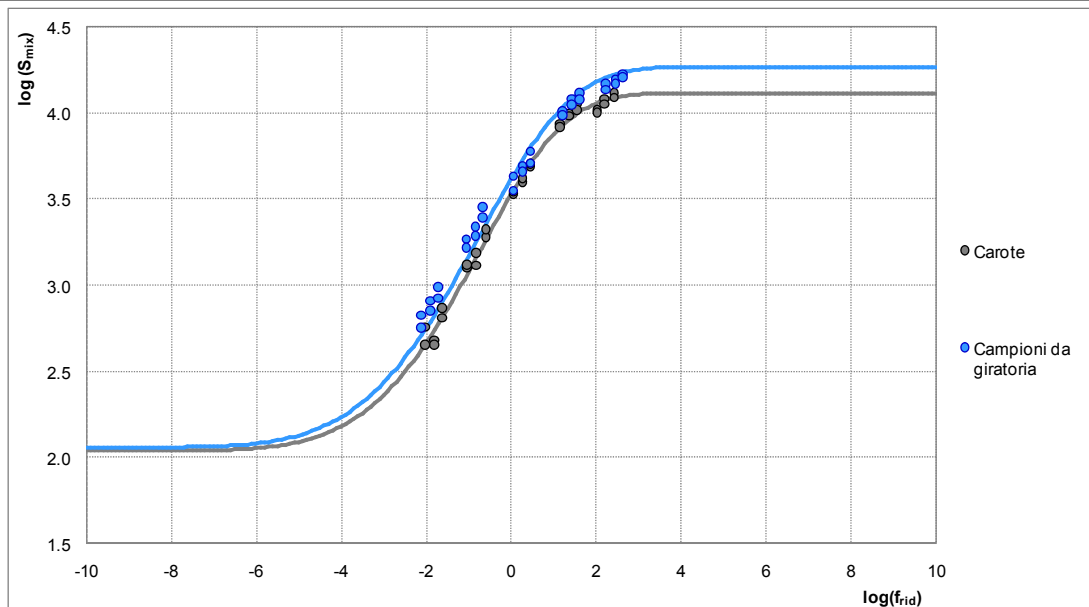
Caratteristiche di rigidità della miscela

Moduli di rigidità alle varie temperature e frequenze

TEMPERATURA [°C]	FREQUENZA [MPa]	Moduli di Rigidità M_R [MPa]			
		CAMPIONI DA GIRATORIA			
		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°1	Campione n°2
2	2.8	17052	15908	12995	12392
	1.8	15861	14710	12210	11389
	1.1	14624	13805	10320	9946
10	2.8	12912	11931	11285	10363
	1.8	12209	11012	9824	9697
	1.1	10153	9577	8721	8234
20	2.8	6033	5171	4829	5001
	1.8	4977	4539	3915	4123
	1.1	4320	3576	3370	3509
30	2.8	2832	2449	1873	2083
	1.8	2176	1909	1314	1522
	1.1	1868	1644	1252	1310
40	2.8	962	847	728	653
	1.8	816	708	483	449
	1.1	674	564	576	445

Curve maestre

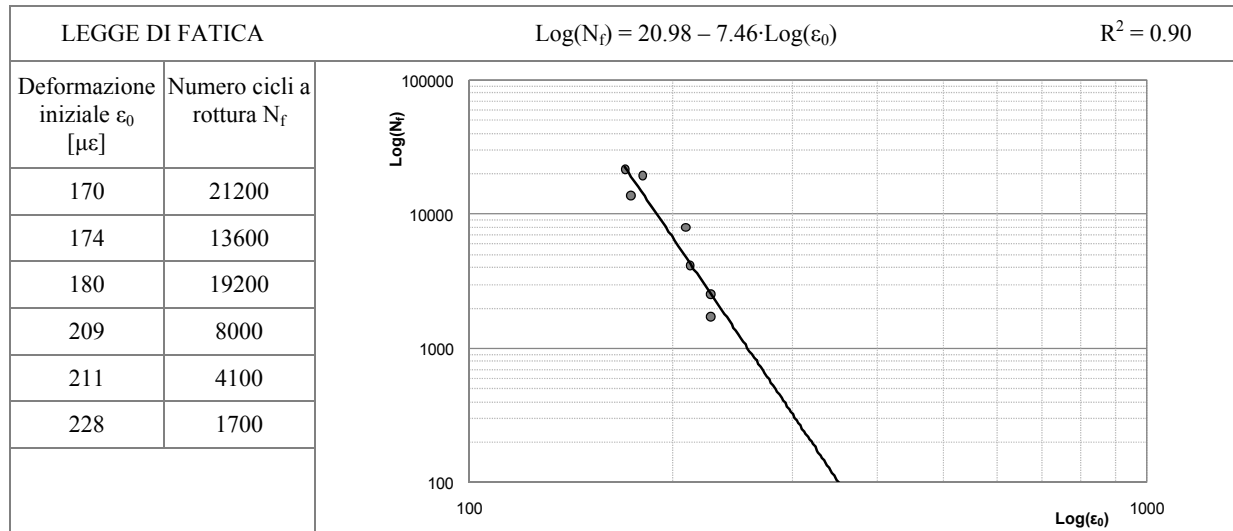
PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE CURVE MAESTRE					
	S_{max} [MPa]	S_{min} [MPa]	β	γ	ΔH [J/mole]
Campioni da giratoria	18621	115	9.63	5.27	188
Carote	13076	110	9.60	5.65	179



Moduli di Rigidezza M _R [MPa]									
Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	2	10	1	2	10	1	2	10
Campioni da giratoria	16763	17494	18344	10597	12419	15856	4144	5484	9453
Carote	12122	12546	12976	8138	9443	11696	3379	4464	7546

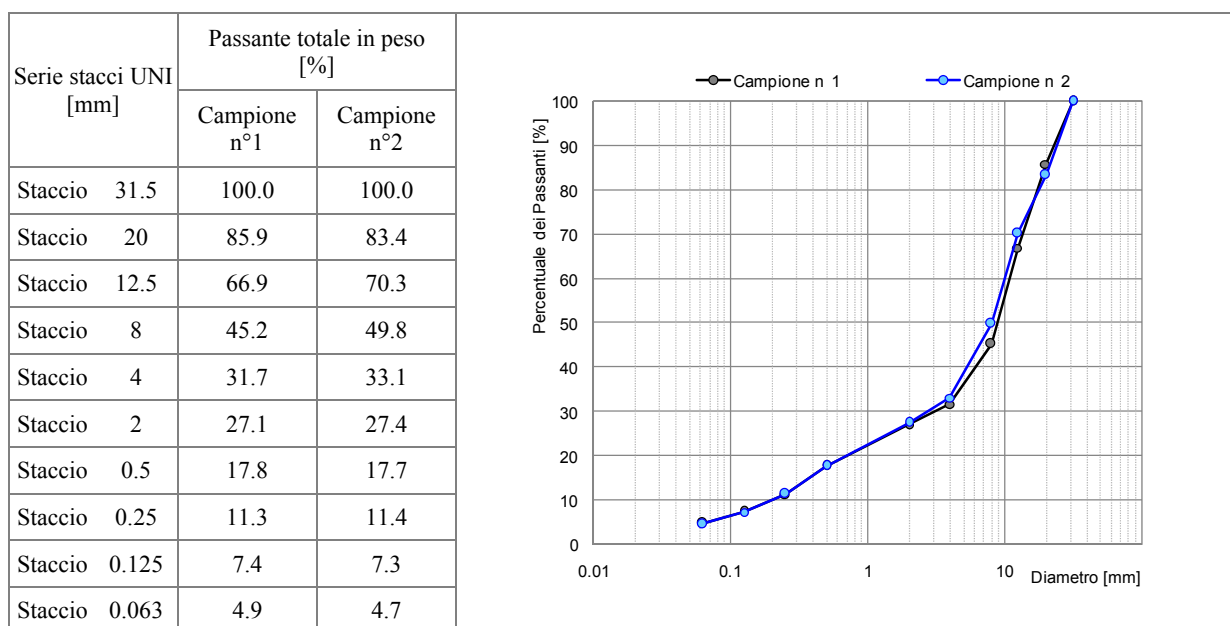


Legge di fatica



2.1.3 STRATO DI BASE IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO

Curva granulometrica



Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

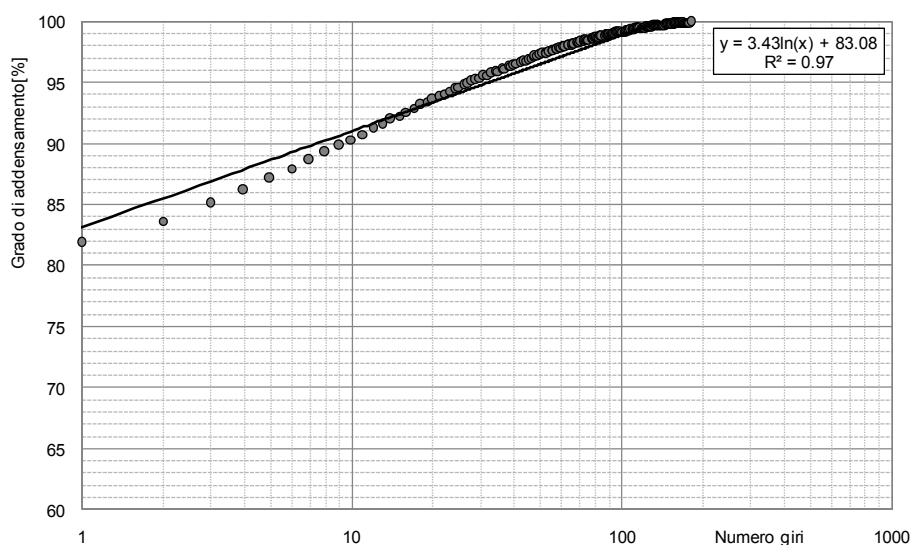
CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.9		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	5.2		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.448		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.432	2.429	2.431
Volume di bitume (V_b)	%	10.7	10.7	10.7
Volume dei vuoti (V_v)	%	0.6	0.8	0.7
Volume dell'aggregato (V_G)	%	88.6	88.5	88.6
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	11.4	11.5	11.4
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	94.4	93.4	93.9

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri $N_{initial}=10$		
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.9		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	5.2		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.448		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.211	2.427	2.447
Volume di bitume (V_b)	%	9.8	10.7	10.8
Volume dei vuoti (V_v)	%	9.7	0.9	0.0

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Firenze

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{initial}=10$	$N_{initial}=10$
Volume dell'aggregato (V_G)	%	80.5	88.4	89.2
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	19.5	11.6	10.8
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	50.2	92.6	99.7



Curva di addensamento della miscela

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	11.98	12.65	11.30	11.98
Spostamento di compressione a rottura	mm	2.32	2.21	2.50	2.34
Resistenza a trazione indiretta ITS_{dry}	N/mm ²	0.92	0.98	0.87	0.92
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0155	0.0147	0.0167	0.0156
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{dry}	N/mm ²	93.9	104.1	82.2	93.4

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	10.92	10.35	11.35	10.87
Spostamento di compressione a rottura	mm	2.35	2.63	2.13	2.37
Resistenza a trazione indiretta ITS_{wet}	N/mm ²	0.80	0.83	0.80	0.81
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0157	0.0175	0.0142	0.0158
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{wet}	N/mm ²	80.1	74.3	88.8	81.1
Rapporto di resistenza a trazione indiretta $ITSR$	%	88			

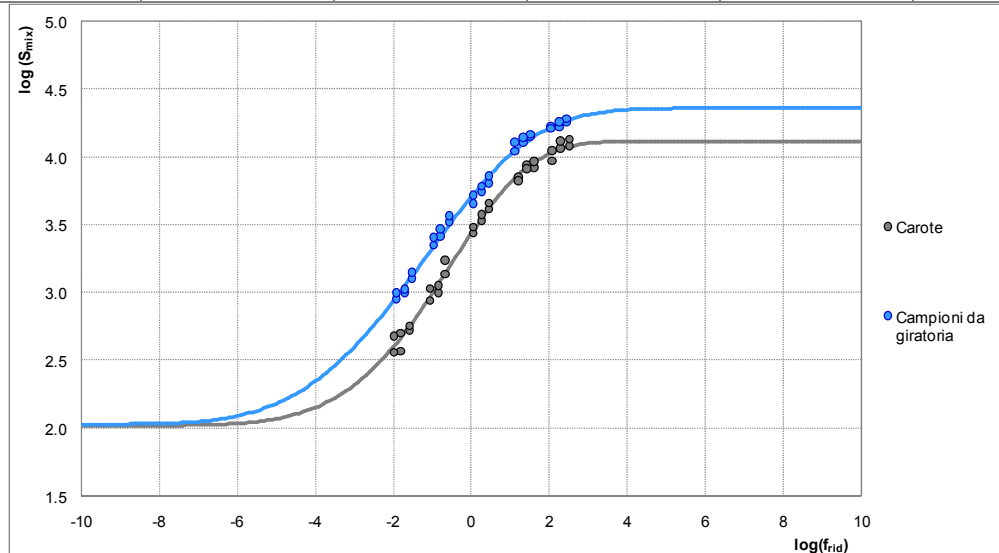
Caratteristiche di rigidità della miscela

Moduli di rigidità alle varie temperature e frequenze

TEMPERATURA [°C]	FREQUENZA [MPa]	Moduli di Rigidità M_R [MPa]			
		CAMPIONI DA GIRATORIA		CAROTE	
		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°1	Campione n°2
2	2.8	18047	19308	13665	11910
	1.8	16692	17932	12877	11437
	1.1	16542	16361	10956	9427
10	2.8	14058	14855	9144	8285
	1.8	12723	13792	8063	8621
	1.1	11099	12669	6627	7024
20	2.8	6293	7189	4604	4158
	1.8	5511	6129	3708	3343
	1.1	4491	5162	3071	2767
30	2.8	3293	3667	1699	1379
	1.8	2584	2915	1118	987
	1.1	2246	2539	1076	881
40	2.8	1260	1396	573	524
	1.8	982	1052	505	372
	1.1	888	988	474	365

Curve maestre

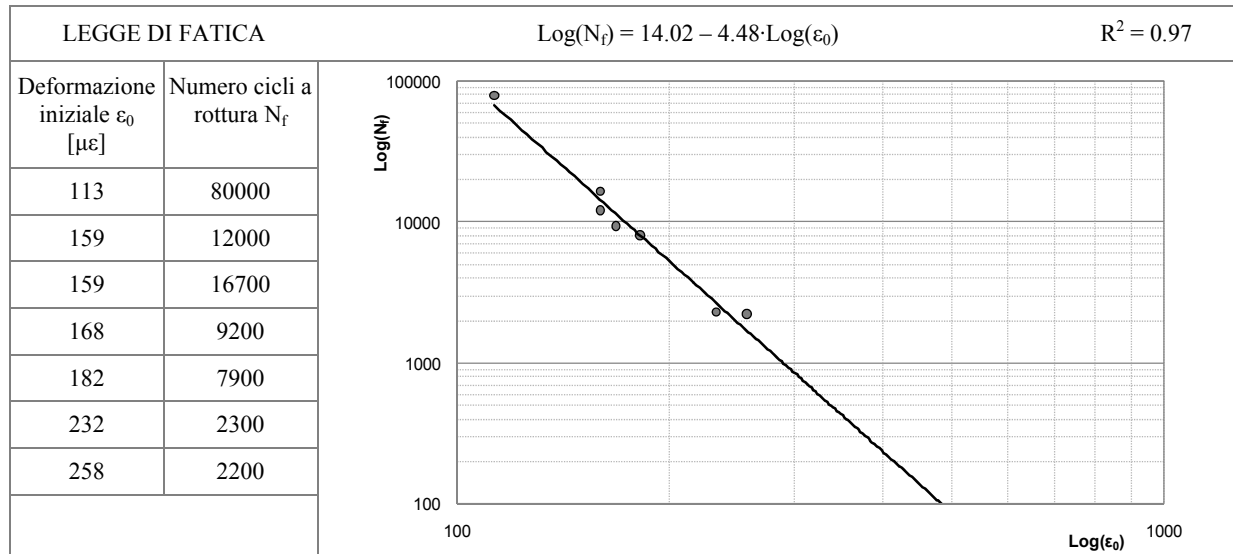
PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE CURVE MAESTRE					
	S_{max} [MPa]	S_{min} [MPa]	β	γ	ΔH [J/mole]
Campioni da giratoria	22909	107	9.45	4.25	173
Carote	13107	105	9.79	5.59	187



Moduli di Rigidità M_R [MPa]									
Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	2	10	1	2	10	1	2	10
Campioni da giratoria	17645	18983	21169	10873	12732	16792	5091	6448	10325
Carote	11784	12322	12930	7231	8566	11120	2723	3632	6422

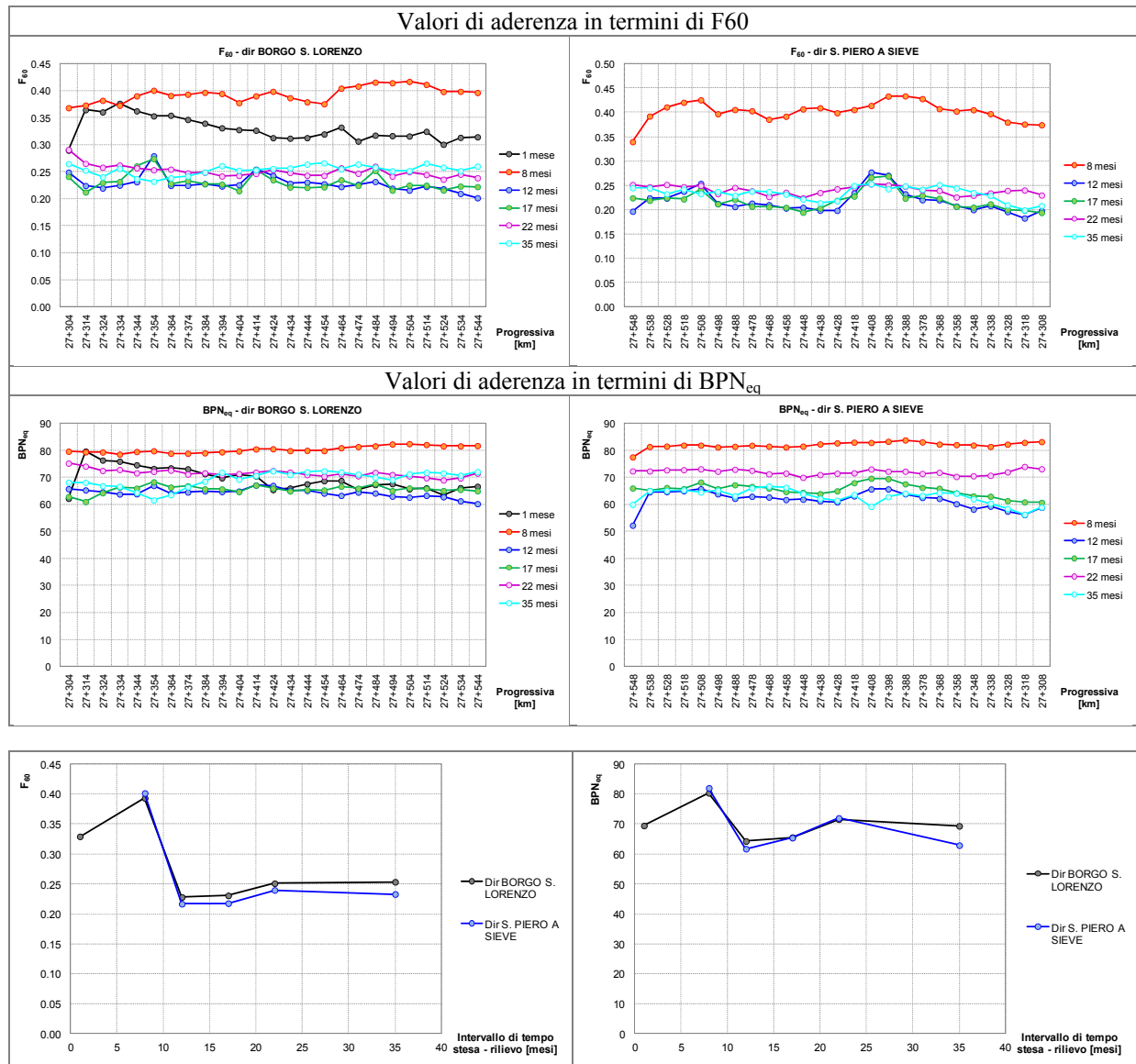


Legge di fatica

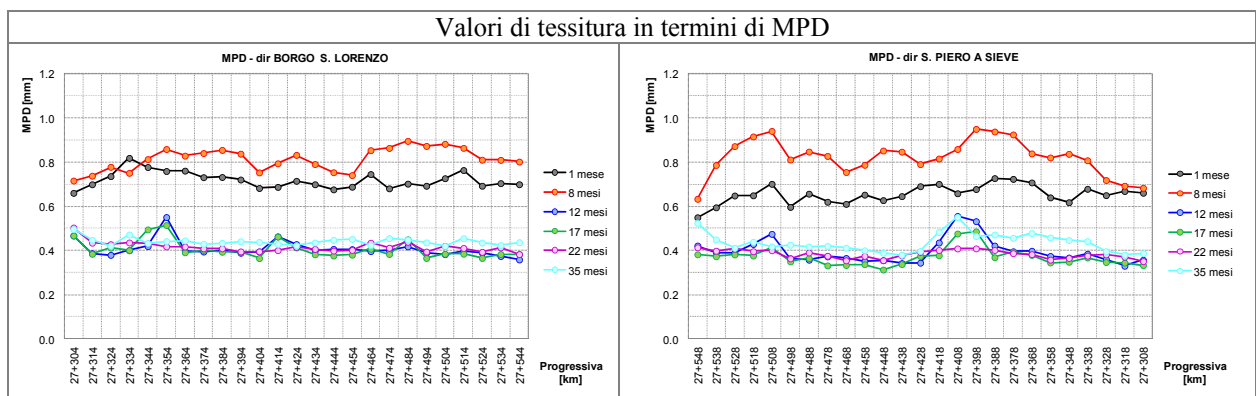


2.2 MONITORAGGIO – PROVE IN SITO

2.2.1 ADERENZA

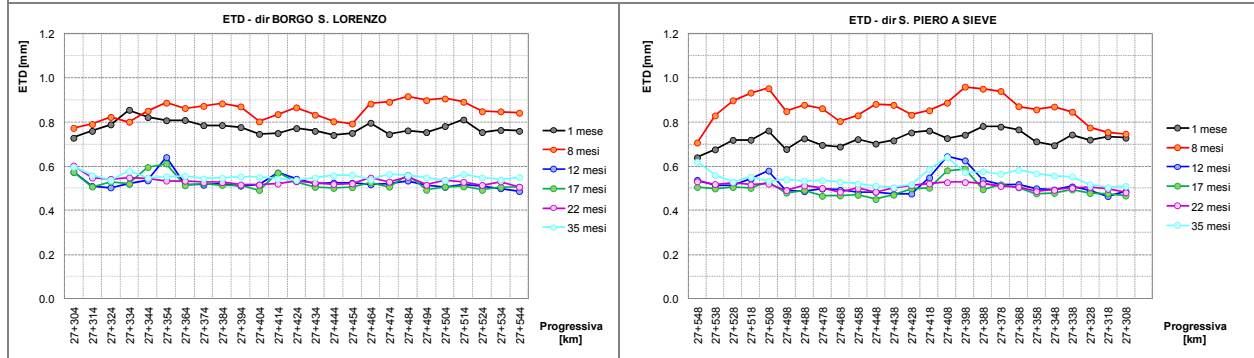


2.2.2 TESSITURA

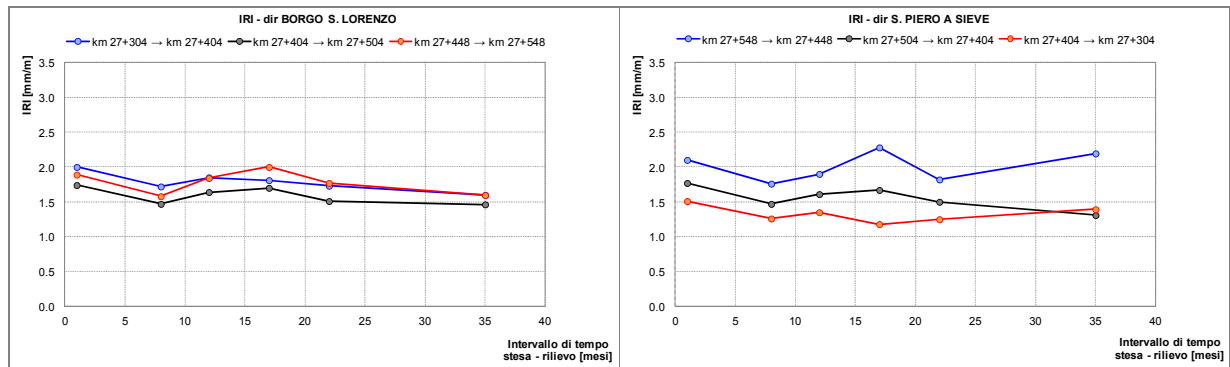


Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Firenze

Valori di tessitura in termini di ETD

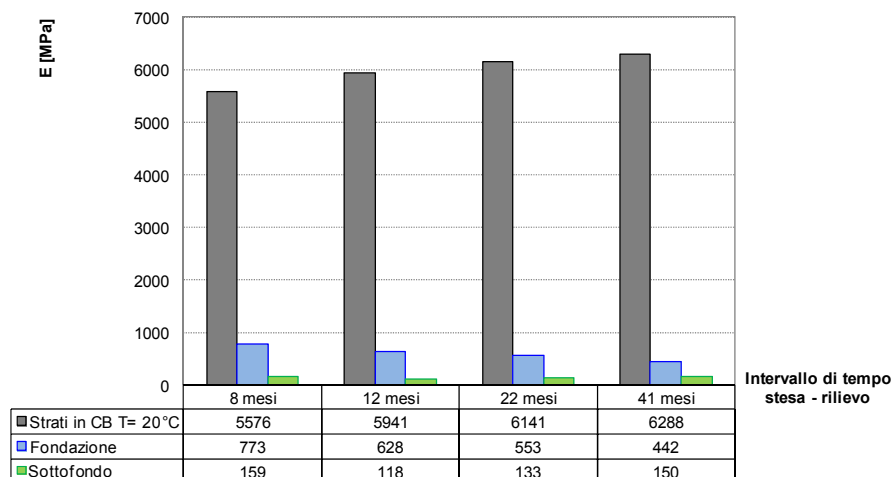


2.2.3 REGOLARITÀ LONGITUDINALE



2.2.4 MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE

Intervallo di tempo stesa - rilievo	E ₁ – strati in conglomerato bituminoso a T=20 °C	E ₂ – strato di fondazione in misto granulare	E ₃ – terreno di sottofondo
8 mesi	5576	773	159
12 mesi	5941	628	118
22 mesi	6141	553	133
41 mesi	6288	442	150
Media	5986	599	140
Dev St	308	139	18
COV [%]	5.2	23.2	13.0



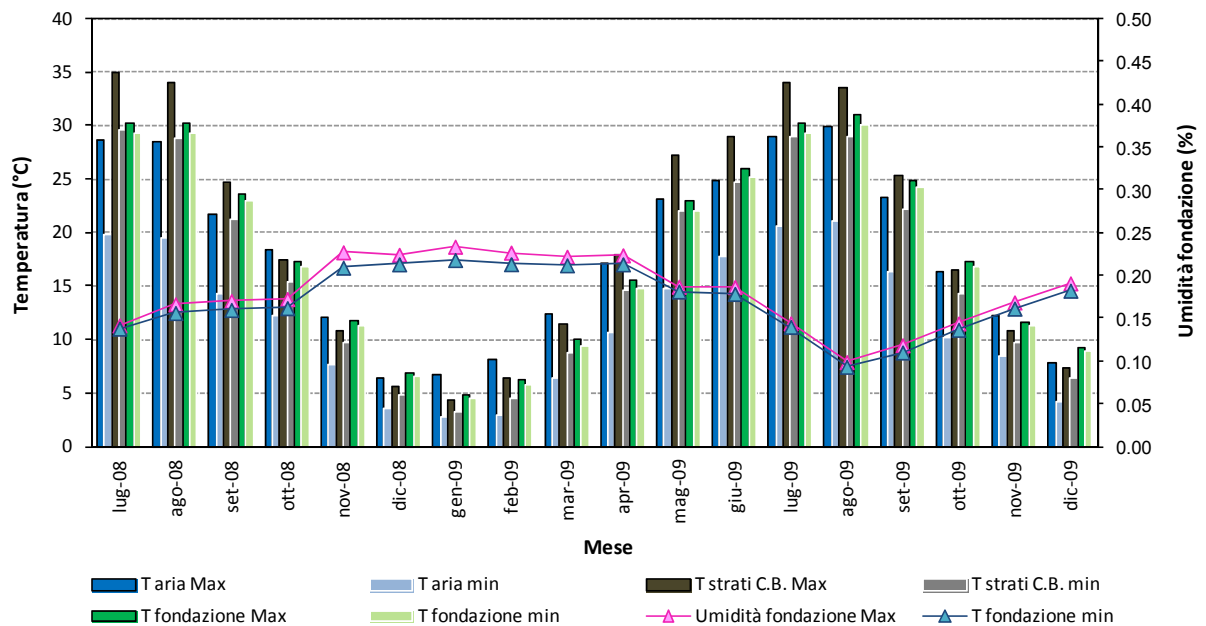
2.2.5 FATTORI AMBIENTALI

ANNO	MESE	TEMPERATURA dell'ARIA			TEMPERATURA del CONGLOMERATO BITUMINOSO ⁽¹⁾			TEMPERATURA dello STRATO di FONDAZIONE ⁽²⁾			UMIDITÀ dello STRATO di FONDAZIONE ⁽²⁾		
		max	min	media	max	min	media	max	min	media	max	min	media
2008	Luglio	28.6	19.8	24.2	35.0	29.6	32.3	30.2	29.3	29.7	0.14	0.14	0.14
	Agosto	28.5	19.5	23.8	34.0	28.9	31.4	30.2	29.3	29.7	0.17	0.16	0.16
	Settembre	21.7	14.3	18.0	24.7	21.2	22.9	23.6	22.9	23.2	0.17	0.16	0.16
	Ottobre	18.3	12.3	15.1	17.5	15.5	16.5	17.2	16.8	17.0	0.17	0.16	0.17
	Novembre	12.0	7.7	9.7	10.8	9.6	10.2	11.7	11.4	11.5	0.23	0.21	0.22
	Dicembre	6.5	3.5	4.9	5.7	4.9	5.3	6.8	6.5	6.7	0.22	0.21	0.22
2009	Gennaio	6.7	2.8	4.6	4.3	3.2	3.8	4.8	4.5	4.6	0.23	0.22	0.23
	Febbraio	8.2	3.0	5.4	6.4	4.6	5.5	6.2	5.8	6.0	0.23	0.21	0.22
	Marzo	12.3	6.4	9.2	11.5	8.8	10.1	10.0	9.4	9.7	0.22	0.21	0.22
	Aprile	17.1	10.7	13.7	17.9	14.5	16.2	15.5	14.8	15.1	0.22	0.21	0.22
	Maggio	23.2	14.7	18.8	27.2	22.1	24.6	22.9	21.9	22.4	0.19	0.18	0.18
	Giugno	24.9	17.8	21.1	29.0	24.7	26.8	26.0	25.1	25.6	0.19	0.18	0.18
	Luglio	29.0	20.6	24.7	34.0	28.9	31.4	30.3	29.3	29.8	0.14	0.14	0.14
	Agosto	29.8	21.1	25.3	33.6	29.0	31.3	31.0	30.1	30.5	0.10	0.09	0.10
	Settembre	23.3	16.3	19.8	25.4	22.1	23.7	24.9	24.2	24.5	0.12	0.11	0.11
	Ottobre	16.3	10.2	13.1	16.5	14.3	15.3	17.3	16.8	17.0	0.14	0.14	0.14
	Novembre	12.3	8.5	10.2	10.7	9.7	10.2	11.6	11.3	11.5	0.17	0.16	0.17
	Dicembre	7.8	4.2	5.9	7.4	6.4	6.9	9.2	8.9	9.0	0.19	0.18	0.19

⁽¹⁾ Rilevata alla profondità di 9 cm dal piano stradale
⁽²⁾ Rilevata alla profondità di 35 cm dal piano stradale

SITO DI STUDIO DELLA PROVINCIA DI FIRENZE
SRT 302 Faentina - km 27+304/27+548

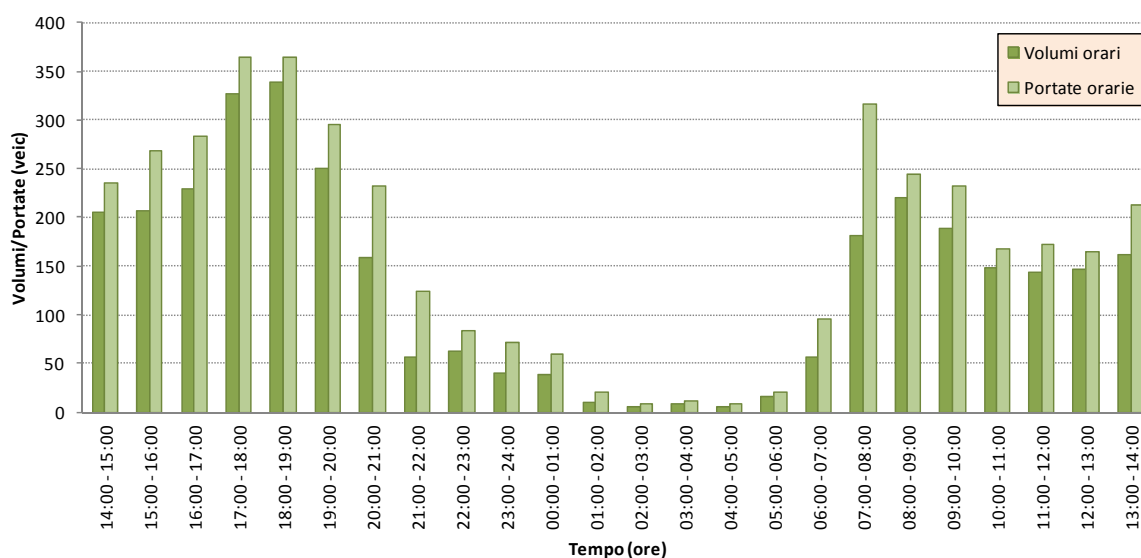
Temperature mensili medie



2.2.6 DATI DI TRAFFICO

GIORNO	ORA	VOLUMI ORARI	VOLUMI LEGGERI	% MEZZI PESANTI	TASSI DI FLUSSO	PHF
11/10/2011	14:00 - 15:00	205	175	14.6	236	0.87
	15:00 - 16:00	207	177	14.5	268	0.77
	16:00 - 17:00	230	209	9.1	284	0.81
	17:00 - 18:00	327	288	11.9	364	0.90
	18:00 - 19:00	339	305	10.0	364	0.93
	19:00 - 20:00	250	230	8.0	296	0.84
	20:00 - 21:00	158	145	8.2	232	0.68
	21:00 - 22:00	56	54	3.6	124	0.45
	22:00 - 23:00	63	59	6.3	84	0.75
	23:00 - 24:00	40	38	5.0	72	0.56
12/10/2011	00:00 - 01:00	39	38	2.6	60	0.65
	01:00 - 02:00	10	10	0.0	20	0.50
	02:00 - 03:00	6	6	0.0	8	0.75
	03:00 - 04:00	8	8	0.0	12	0.67
	04:00 - 05:00	5	4	20.0	8	0.63
	05:00 - 06:00	16	15	6.3	20	0.80
	06:00 - 07:00	56	48	14.3	96	0.58
	07:00 - 08:00	181	151	16.6	316	0.57
	08:00 - 09:00	220	180	18.2	244	0.90
	09:00 - 10:00	188	169	10.1	232	0.81
	10:00 - 11:00	148	125	15.5	168	0.88
	11:00 - 12:00	143	123	14.0	172	0.83
	12:00 - 13:00	147	131	10.9	164	0.90
	13:00 - 14:00	161	140	13.0	212	0.76
	14:00 - 15:00	205	175	14.6	236	0.87
TGM		3203	2828	11.7		

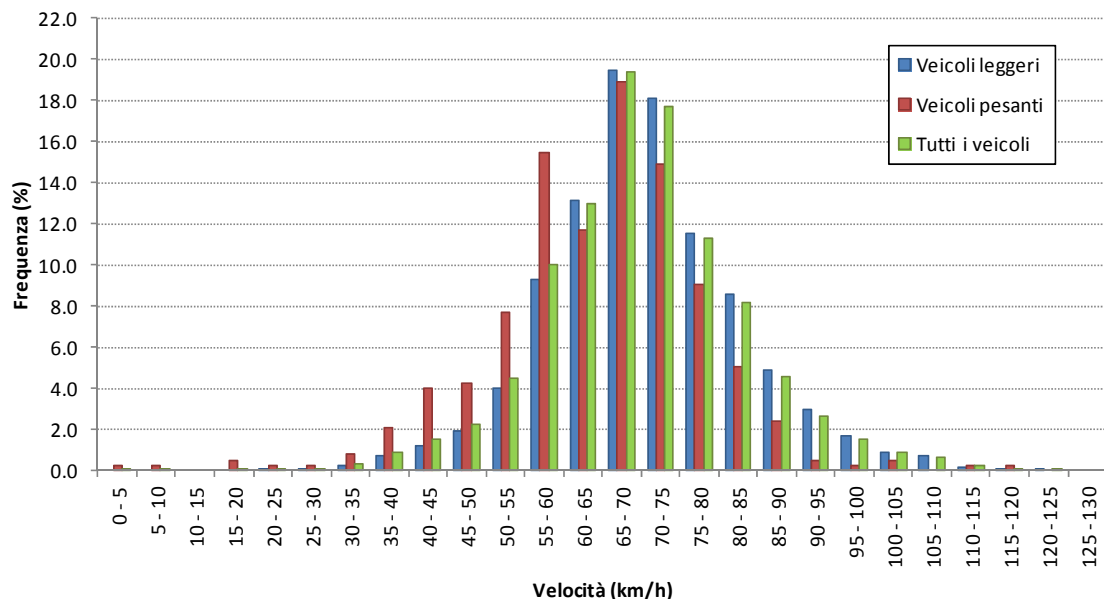
VOLUMI ORARI E TASSI DI FLUSSO



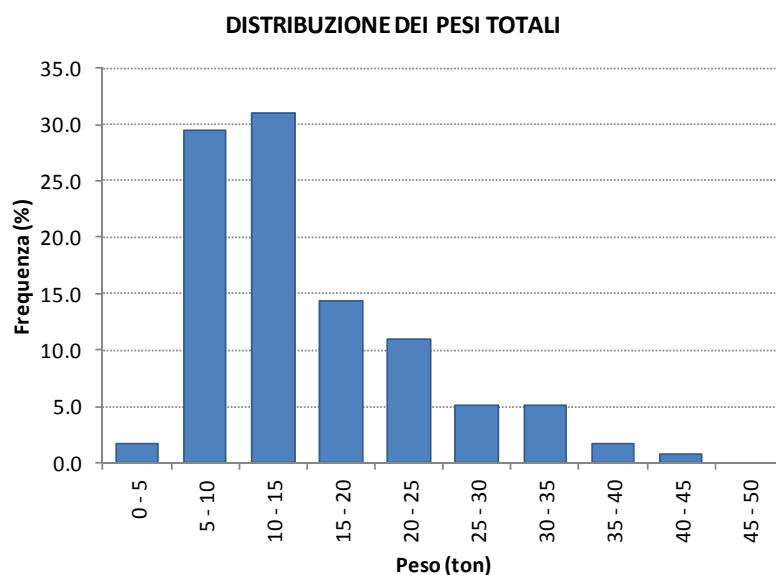
Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Firenze

CLASSI DI VELOCITA' (km/h)	TUTTI I VEICOLI		VEICOLI LEGGERI		VEICOLI PESANTI	
	FREQUENZA					
	Assoluta.	%	Assoluta.	%	Assoluta.	%
0 - 5	1	0.0	0	0.0	1	0.3
5 - 10	1	0.0	0	0.0	1	0.3
10 - 15	0	0.0	0	0.0	0	0.0
15 - 20	2	0.1	0	0.0	2	0.5
20 - 25	4	0.1	3	0.1	1	0.3
25 - 30	3	0.1	2	0.1	1	0.3
30 - 35	10	0.3	7	0.2	3	0.8
35 - 40	28	0.9	20	0.7	8	2.1
40 - 45	49	1.5	34	1.2	15	4.0
45 - 50	71	2.2	55	1.9	16	4.3
50 - 55	143	4.5	114	4.0	29	7.7
55 - 60	320	10.0	262	9.3	58	15.5
60 - 65	416	13.0	372	13.2	44	11.7
65 - 70	621	19.4	550	19.4	71	18.9
70 - 75	568	17.7	512	18.1	56	14.9
75 - 80	361	11.3	327	11.6	34	9.1
80 - 85	261	8.1	242	8.6	19	5.1
85 - 90	147	4.6	138	4.9	9	2.4
90 - 95	86	2.7	84	3.0	2	0.5
95 - 100	50	1.6	49	1.7	1	0.3
100 - 105	28	0.9	26	0.9	2	0.5
105 - 110	20	0.6	20	0.7	0	0.0
110 - 115	7	0.2	6	0.2	1	0.3
115 - 120	3	0.1	2	0.1	1	0.3
120 - 125	3	0.1	3	0.1	0	0.0
125 - 130	0	0.0	0	0.0	0	0.0
VELOCITA' (km/h)						
MEDIA	70.4		71.1		64.7	
DEV. ST.	12.9		12.6		14.0	
85° PERCENTILE	83.0		83.0		77.0	

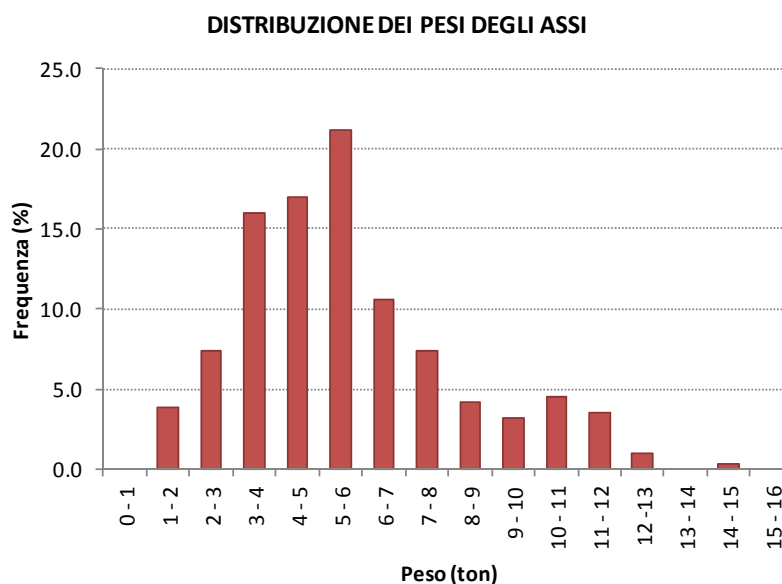
DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITA'



PESI TOTALI		
CLASSI DI PESO (ton)	FREQUENZA	
	Assoluta.	%
0 - 5	2	1.7
5 - 10	35	29.4
10 - 15	37	31.1
15 - 20	17	14.3
20 - 25	13	10.9
25 - 30	6	5.0
30 - 35	6	5.0
35 - 40	2	1.7
40 - 45	1	0.8
45 - 50	0	0.0



PESI SINGOLI ASSI		
CLASSI DI PESO (ton)	FREQUENZA	
	Assoluta.	%
0 - 1	0	0.0
1 - 2	12	3.8
2 - 3	23	7.4
3 - 4	50	16.0
4 - 5	53	17.0
5 - 6	66	21.2
6 - 7	33	10.6
7 - 8	23	7.4
8 - 9	13	4.2
9 - 10	10	3.2
10 - 11	14	4.5
11 - 12	11	3.5
12 - 13	3	1.0
13 - 14	0	0.0
14 - 15	1	0.3
15 - 16	0	0.0



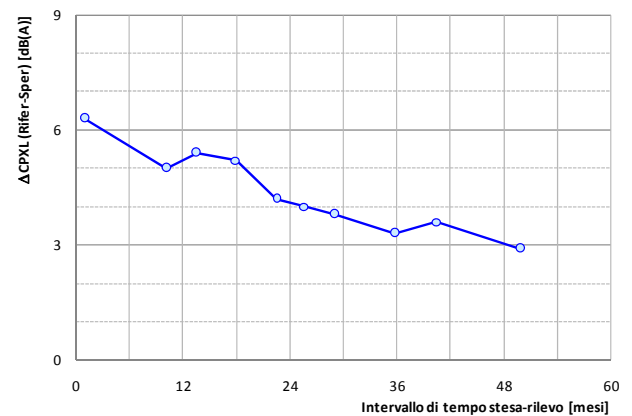
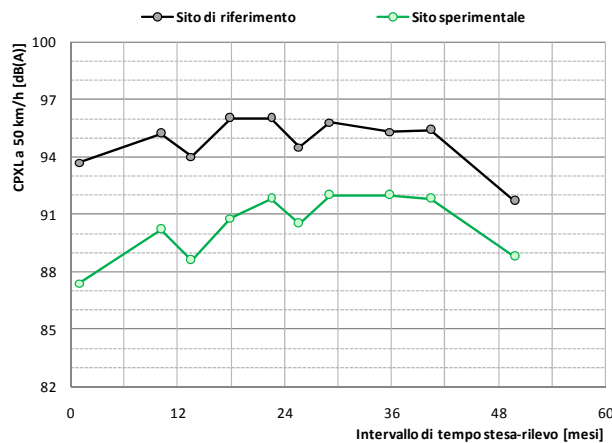
2.2.7 PRESTAZIONI ACUSTICHE

2.2.7.1 Rumore da rotolamento – CPX

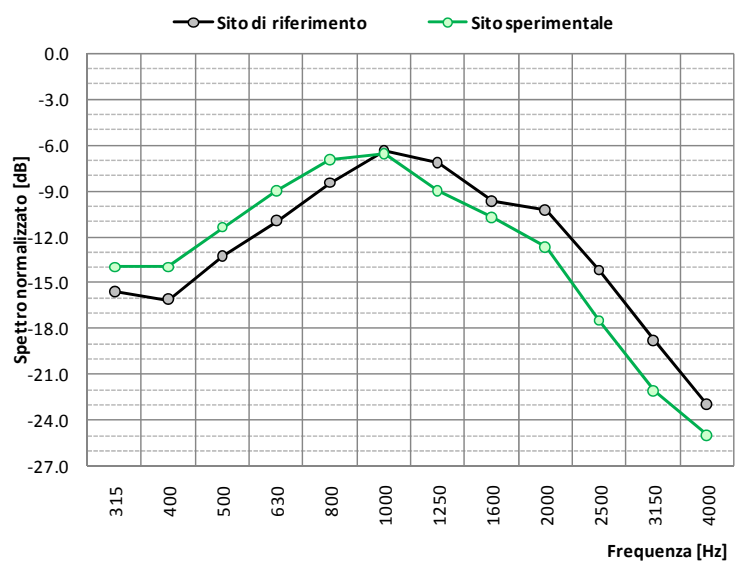
Data rilevamento	Intervallo di tempo stesa-rilevamento [mesi]	Livello di rumore da rotolamento – CPXL a 50 km/h [dB(A)]		
		Sito di riferimento	Sito sperimentale	Differenza sito rifer-sito sperim
luglio-08	1	93.7	87.4	6.3
aprile-09	10	95.2	90.2	5.0
luglio-09	14	94.0	88.6	5.4

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Firenze

Data rilevamento	Intervallo di tempo stesa-rilevamento [mesi]	Livello di rumore da rotolamento – CPXL a 50 km/h [dB(A)]		
		Sito di riferimento	Sito sperimentale	Differenza sito rifer-sito sperimentale
novembre-09	18	96.0	90.8	5.2
aprile-10	23	96.0	91.8	4.2
luglio-10	26	94.5	90.5	4.0
ottobre-10	29	95.8	92.0	3.8
maggio-11	36	95.3	92.0	3.3
ottobre-11	40	95.4	91.8	3.6
luglio-12	50	91.7	88.8	2.9
Media		94.8	90.4	4.4
Dev St		1.3	1.6	1.1
COV [%]		1.4	1.8	24.4

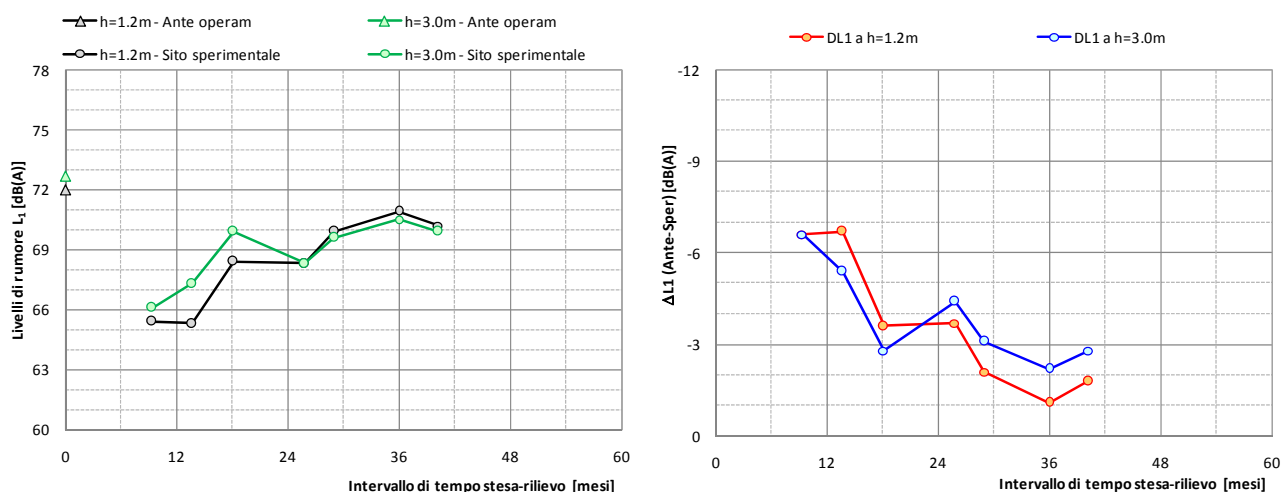


Spettri normalizzati		
Frequenza [Hz]	Sito di riferimento [dB]	Sito Sperimentale [dB]
315	-15.6	-14.0
400	-16.1	-14.0
500	-13.3	-11.4
630	-11.0	-9.0
800	-8.5	-7.0
1000	-6.4	-6.6
1250	-7.2	-9.0
1600	-9.7	-10.8
2000	-10.3	-12.7
2500	-14.2	-17.5
3150	-18.8	-22.1
4000	-23.0	-25.0



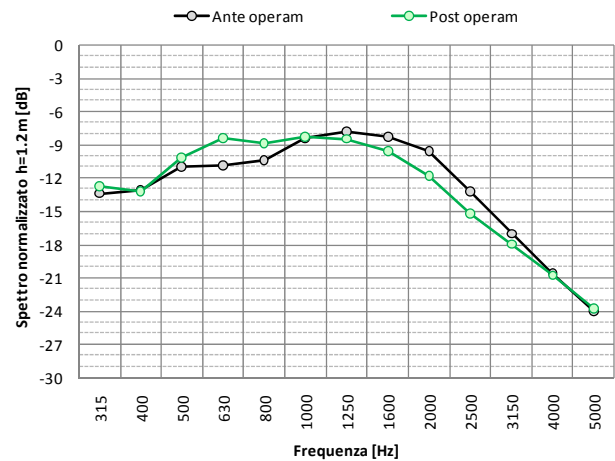
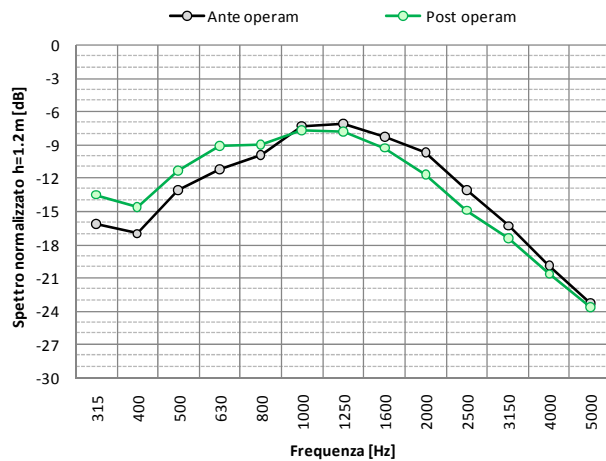
2.2.7.2 Livello di rumore a bordo strada – SPB

Data rilevamento	Intervallo di tempo stesa-rilevamento [mesi]	Livelli di rumore L_1 a 50 km/h [dB(A)]			
		L_1 a h= 1.2 m	ΔL_1 a h= 1.2 m	L_1 a h= 3.0 m	ΔL_1 a h= 3.0 m
febbraio-06	Ante operam	72.0		72.7	
marzo-09	9	65.4	-6.6	66.1	-6.6
luglio-09	14	65.3	-6.7	67.3	-5.4
novembre-09	18	68.4	-3.6	69.9	-2.8
luglio-10	26	68.3	-3.7	68.3	-4.4
ottobre-10	29	69.9	-2.1	69.6	-3.1
maggio-11	36	70.9	-1.1	70.5	-2.2
settembre-11	40	70.2	-1.8	69.9	-2.8



Spettri normalizzati a 50 km/h				
Frequenza [Hz]	h=1.2 m		h=3.0 m	
	Ante operam [dB]	Post operam [dB]	Ante operam [dB]	Post operam [dB]
315	-16.1	-13.5	-13.4	-12.8
400	-17.0	-14.6	-13.1	-13.2
500	-13.1	-11.3	-11.0	-10.2
630	-11.2	-9.1	-10.9	-8.4
800	-9.9	-9.0	-10.4	-8.9
1000	-7.3	-7.7	-8.4	-8.3
1250	-7.1	-7.8	-7.8	-8.5
1600	-8.3	-9.3	-8.3	-9.6
2000	-9.7	-11.7	-9.6	-11.8
2500	-13.1	-14.9	-13.2	-15.2
3150	-16.3	-17.4	-17.0	-18.0
4000	-19.9	-20.6	-20.6	-20.8
5000	-23.3	-23.6	-24.0	-23.8

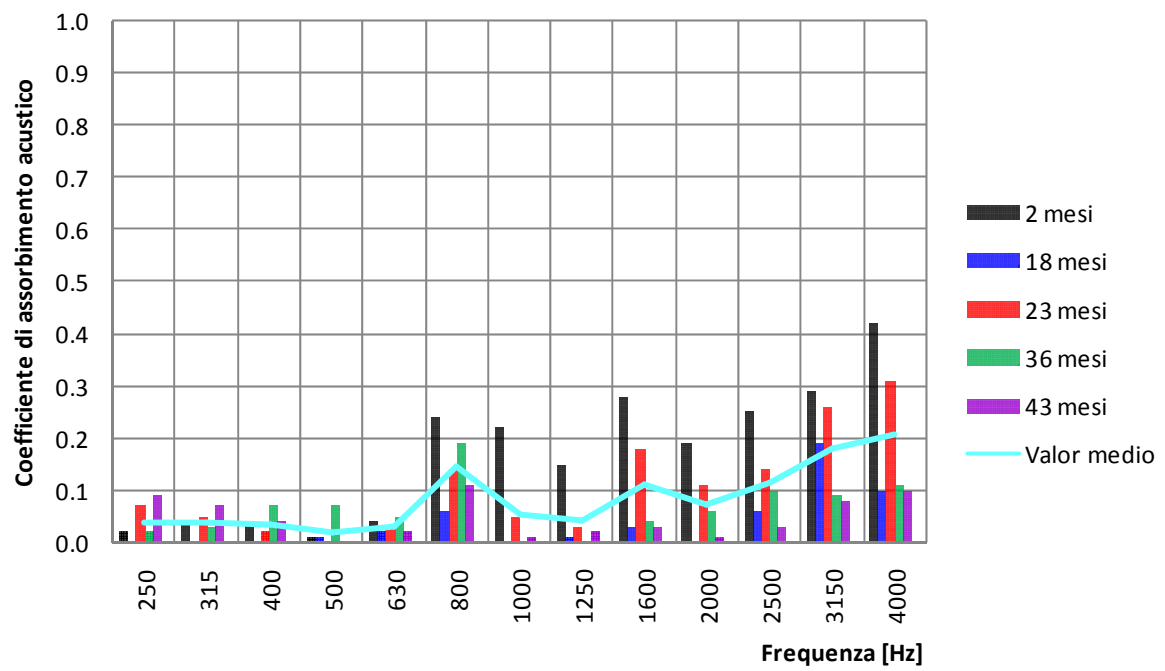
Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Firenze



2.2.7.3 Coefficiente di assorbimento acustico – metodo Adrienne

Coefficiente di assorbimento acustico							
Frequenza [Hz]	Intervallo di tempo stesa-rilievo						Valor medio
	2 mesi	18 mesi	23 mesi	36 mesi	43 mesi		
250	0.02	0.00	0.07	0.02	0.09		0.04
315	0.04	0.00	0.05	0.03	0.07		0.04
400	0.04	0.00	0.02	0.07	0.04		0.03
500	0.01	0.01	0.00	0.07	0.00		0.02
630	0.04	0.02	0.03	0.05	0.02		0.03
800	0.24	0.06	0.14	0.19	0.11		0.15
1000	0.22	0.00	0.05	0.00	0.01		0.06
1250	0.15	0.01	0.03	0.00	0.02		0.04
1600	0.28	0.03	0.18	0.04	0.03		0.11
2000	0.19	0.00	0.11	0.06	0.01		0.07
2500	0.25	0.06	0.14	0.10	0.03		0.12
3150	0.29	0.19	0.26	0.09	0.08		0.18
4000	0.42	0.10	0.31	0.11	0.10		0.21

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Firenze



3. SITO DI LUCCA

Localizzazione del sito	SRT 439 Sarzanese - Valdera dal km 21+786 al km 21+986 Loc. Maggiano
Tipologia	SITO DI PIANURA (50 m s.l.m.)



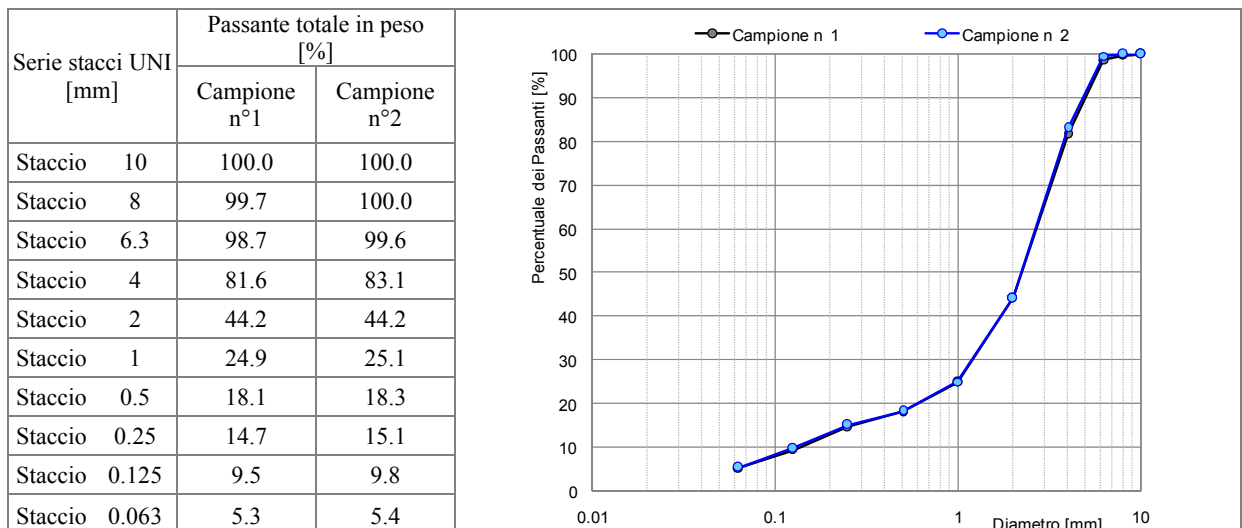
Composizione della sovrastruttura

STRATO	SPESSORE	MATERIALE
USURA	3 cm	Manto di usura a tessitura ottimizzato realizzato con conglomerato bituminoso tipo dense graded
BINDER	5 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo
BASE	10 cm	Strato di base ottenuto dal riciclaggio a freddo con emulsione e cemento di conglomerati fresati

3.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MISCELE

3.1.1 STRATO DI USURA A TESSITURA OTTIMIZZATA TIPO DENSE GRADED

Curva granulometrica

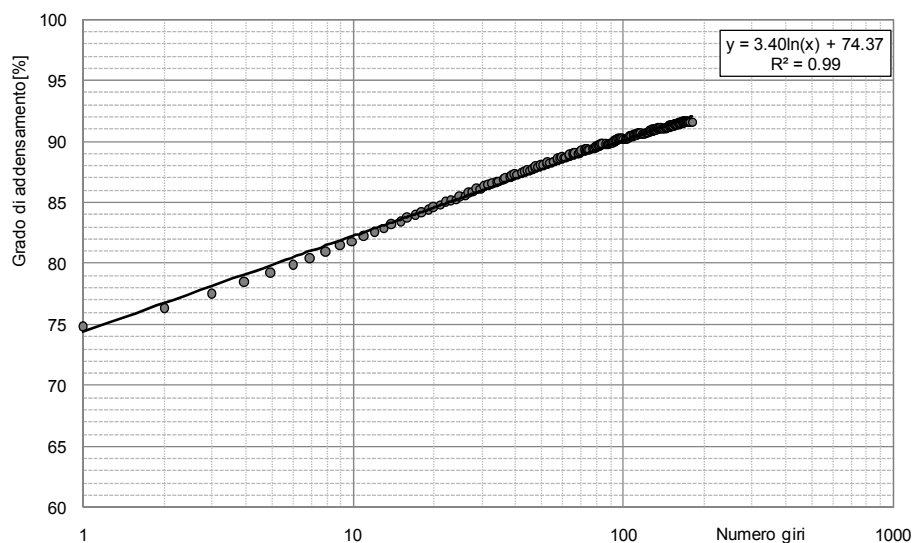


Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.7		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	5.0		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.544		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.228	2.194	2.211
Volume di bitume (V_b)	%	9.8	9.7	9.8
Volume dei vuoti (V_v)	%	12.4	13.8	13.1
Volume dell'aggregato (V_G)	%	77.7	76.5	77.1
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	22.3	23.5	22.9
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	44.2	41.3	42.7

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=100$	$N_{maximum}=180$
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.7		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	5.0		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.544		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.082	2.293	2.331
Volume di bitume (V_b)	%	9.2	10.1	10.3
Volume dei vuoti (V_v)	%	18.2	9.9	8.4
Volume dell'aggregato (V_G)	%	72.6	80.0	81.3
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	27.4	20.0	18.7
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	33.6	50.6	55.1



Curva di addensamento della miscela

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	11.72	11.33	12.04	11.70
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.19	1.23	1.28	1.23
Resistenza a trazione indiretta ITS _{dry}	N/mm ²	1.59	1.41	1.49	1.50
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0119	0.0123	0.0128	0.0123
Coefficiente di trazione indiretta CTI _{dry}	N/mm ²	209.6	180.6	182.7	190.9

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

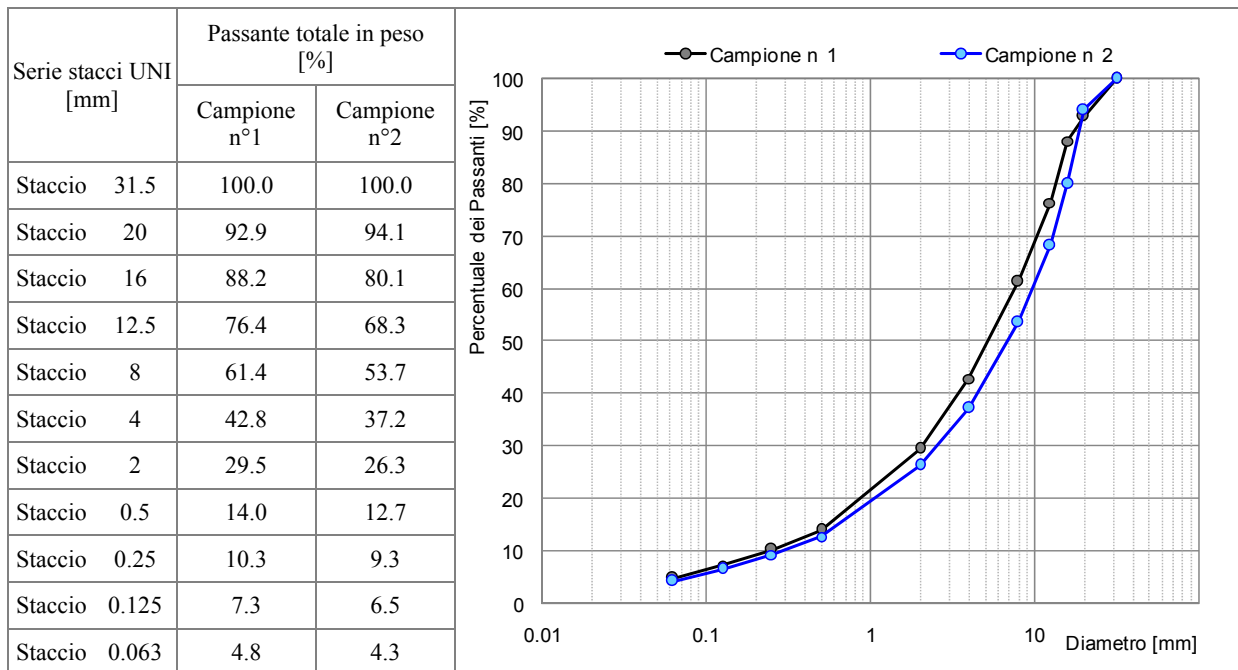
CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	9.08	9.93	10.55	9.85
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.86	1.17	1.41	1.48
Resistenza a trazione indiretta ITS _{wet}	N/mm ²	1.13	1.26	1.30	1.23
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0186	0.0117	0.0141	0.0148
Coefficiente di trazione indiretta CTI _{wet}	N/mm ²	95.7	169.7	145.3	136.9
Rapporto di resistenza a trazione indiretta ITSR	%	82.2			

Moduli di rigidezza della miscela a 20°C e rise-time=125 ms

	Periodo di ripetizione del carico [ms]	Rise-time [ms]	Temperature di prova [°C]	Modulo di rigidezza M _R [MPa]
Campione n°1	3000±100	125±4	20	8197
Campione n°2	3000±100	125±4	20	10282
Modulo di rigidezza medio M _R [MPa]				9240

3.1.2 STRATO DI BINDER IN C.B. TRADIZIONALE A CALDO

Curva granulometrica



Caratteristiche compositive delle carote prelevate in sito

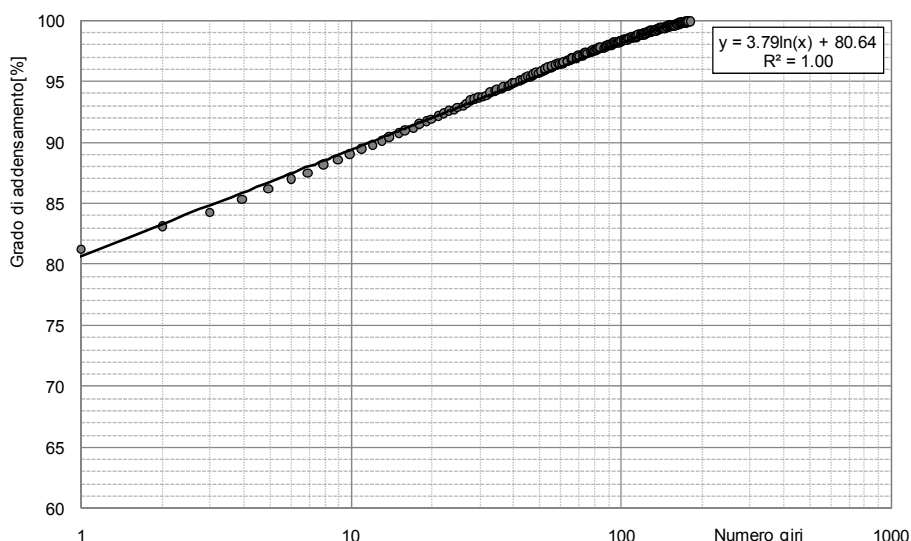
CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Carota n°1	Carota n°2	Valori medi
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.1		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.3		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.488		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.375	2.382	2.378
Volume di bitume (V_b)	%	8.8	8.8	8.8
Volume dei vuoti (V_v)	%	4.6	4.3	4.4
Volume dell'aggregato (V_G)	%	86.7	86.9	86.8
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	13.3	13.1	13.2
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	65.7	67.1	66.4

Caratteristiche compositive della miscela addensata con pressa giratoria

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=50$	$N_{maximum}=130$
Percentuale di bitume riferita alla miscela (b_M)	%	4.1		
Percentuale di bitume riferita agli aggregati (b)	%	4.3		
Massa volumica massima (G_{mm})	kg/dm ³	2.488		
Massa volumica apparente (G_{mb})	kg/dm ³	2.214	2.445	2.485
Volume di bitume (V_b)	%	8.2	9.0	9.2

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

CARATTERISTICHE COMPOSITIVE		Numero di giri		
		$N_{initial}=10$	$N_{design}=50$	$N_{maximum}=130$
Volume dei vuoti (V_v)	%	11.0	1.8	0.1
Volume dell'aggregato (V_G)	%	80.8	89.2	90.7
Volume dei vuoti della miscela secca (VMA)	%	19.2	10.8	9.3
Volume dei vuoti riempiti di bitume (VFA)	%	42.6	83.7	98.6



Curva di addensamento della miscela

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	16.49	17.26	22.78	18.84
Spostamento di compressione a rottura	mm	1.77	1.96	1.70	1.81
Resistenza a trazione indiretta ITS_{dry}	N/mm ²	1.27	1.65	1.61	1.51
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0118	0.0122	0.0113	0.0118
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{dry}	N/mm ²	169.4	198.4	223.3	197.0

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	17.27	21.06	21.76	20.03
Spostamento di compressione a rottura	mm	2.09	1.80	1.79	1.89
Resistenza a trazione indiretta ITS_{wet}	N/mm ²	1.26	1.54	1.54	1.45
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0139	0.0120	0.0119	0.0126
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{wet}	N/mm ²	142.5	201.7	202.6	182.3
Rapporto di resistenza a trazione indiretta ITSR	%	96			

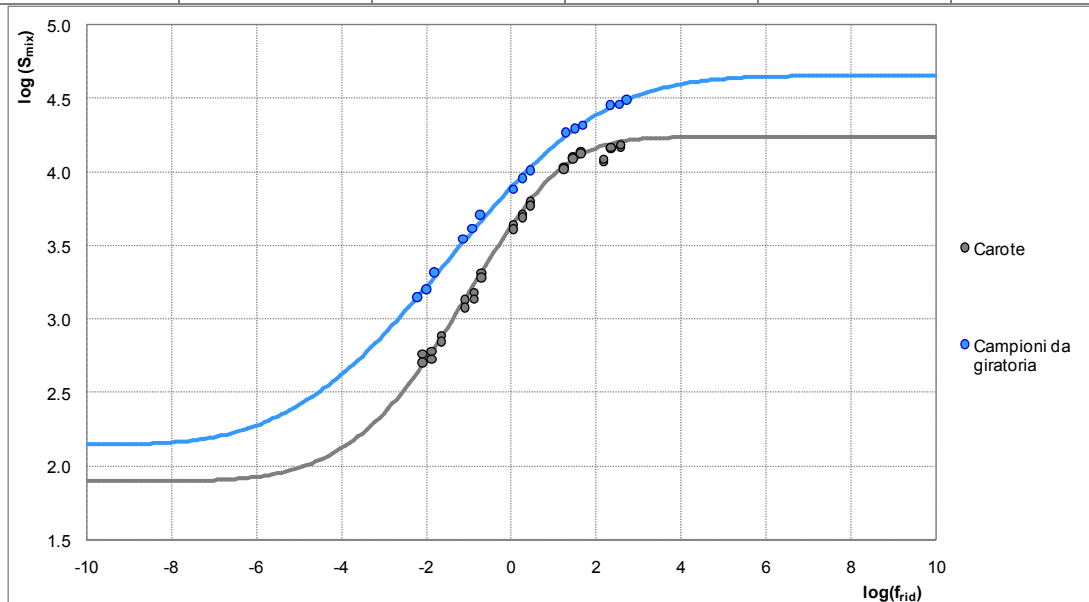
Caratteristiche di rigidità della miscela

Moduli di rigidità alle varie temperature e frequenze

TEMPERATURA [°C]	FREQUENZA [MPa]	Moduli di Rigidità M_R [MPa]			
		CAMPIONI DA GIRATORIA		CAROTE	
		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°1	Campione n°2
2	2.8	30669	32187	14621	15461
	1.8	29000	31800	14406	14775
	1.1	28344	31793	11855	12320
10	2.8	21027	25810	13549	13166
	1.8	19478	25370	12436	12147
	1.1	18315	24111	10879	10337
20	2.8	10082	14811	6204	5807
	1.8	9028	13870	5225	4826
	1.1	7680	12502	4415	4062
30	2.8	5058	9051	2074	1893
	1.8	4173	8307	1528	1376
	1.1	3535	7289	1337	1179
40	2.8	2048	4643	777	696
	1.8	1576	4031	609	537
	1.1	1396	3520	585	500

Curve maestre

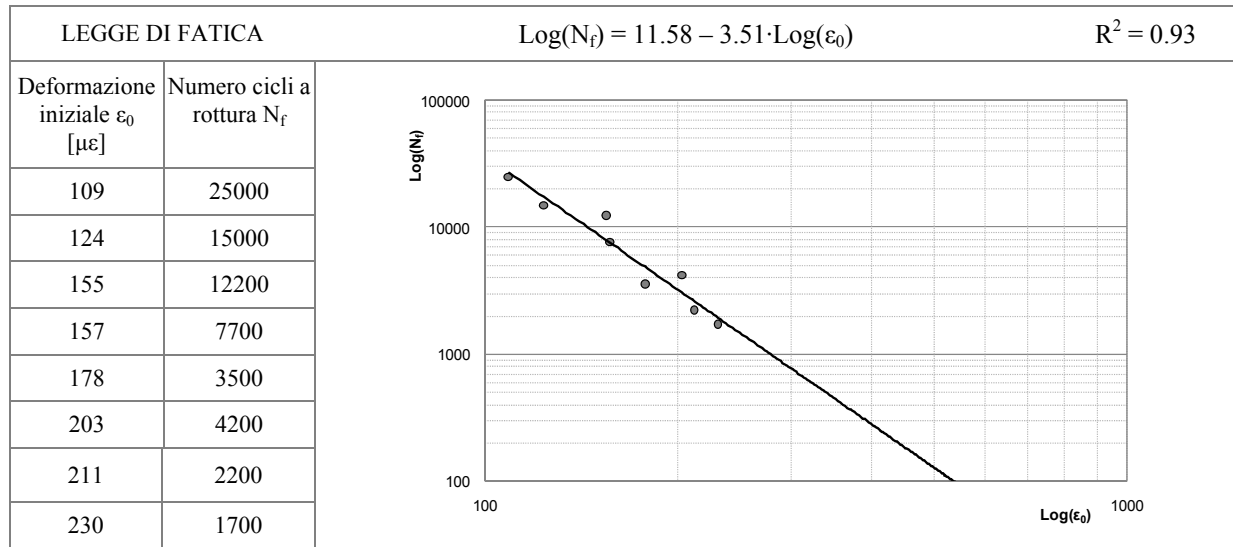
PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE CURVE MAESTRE					
	S_{max} [MPa]	S_{min} [MPa]	β	γ	ΔH [J/mole]
Campioni da giratoria	45149	141	9.49	3.42	196
Carote	17230	79	9.42	5.11	193



Moduli di Rigidità M_R [MPa]									
Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	2	10	1	2	10	1	2	10
Campioni da giratoria	29480	32070	37145	17069	19850	26520	7892	9728	15034
Carote	16000	16512	17069	10782	12398	15232	4310	5680	9539

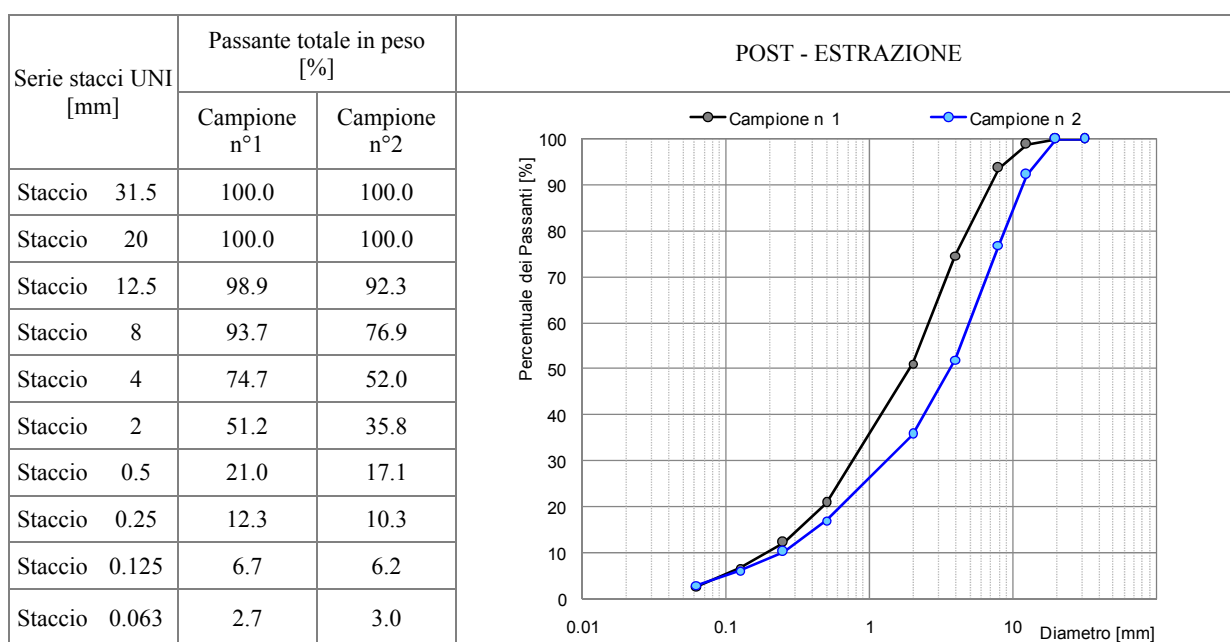
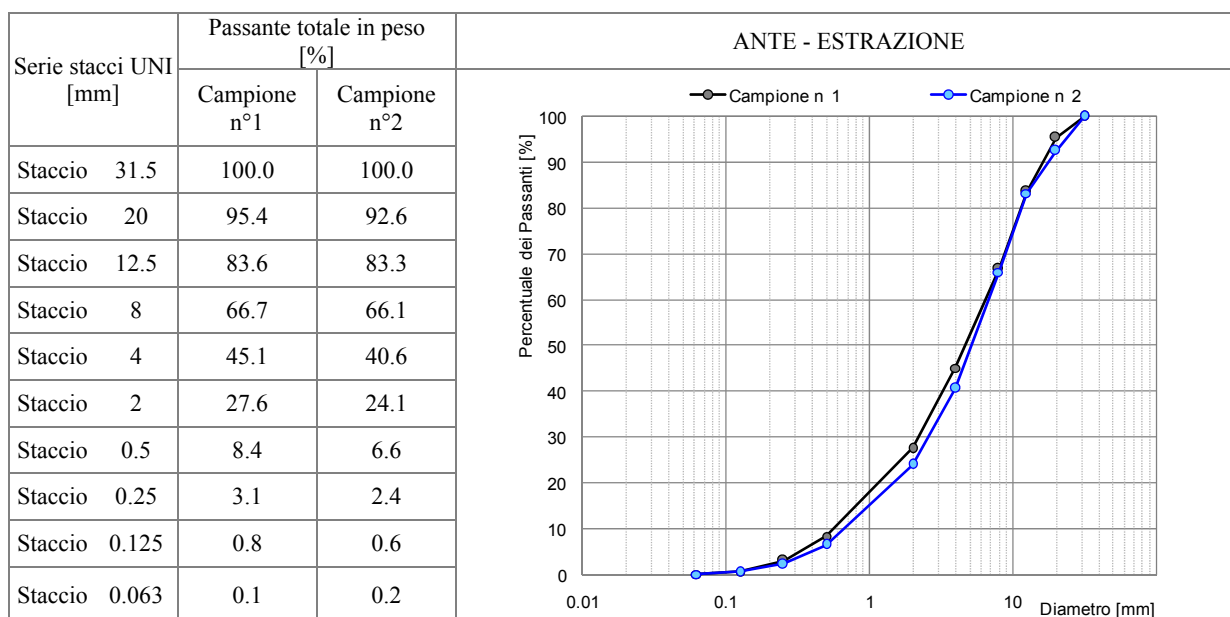


Legge di fatica



3.1.3 STRATO DI BASE IN C.B. RICICLATO A FREDDO CON EMULSIONE E CEMENTO

Curva granulometrica



Composizione della miscela di progetto

COMPONENTI	VALORI
Inerte di integrazione [%]	0.0
Conglomerato da riciclare [%]	100.0
Emulsione bituminosa al 60% di bitume [%]	4.2
Cemento [%]	2.0
Umidità complessiva [%]	7.0
Bitume proveniente dall'emulsione [%]	2.5
Acqua [%]	2.8

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

Caratteristiche volumetriche

CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Campione n°4	Valori medi
Massa volumica secca di progetto D_G	kg/dm ³	2.257	2.268	2.270	2.283	2.270
Massa volumica secca in sito D_S	kg/dm ³	2.229	2.227	2.199	2.142	2.199
Grado di addensamento in sito $G = D_S/D_G$	%	96.9				

Risultati della prova di resistenza a trazione indiretta a 25°C su campioni non condizionati

CARATTERISTICHE MECCANICHE		Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura	kN	8.29	7.89	7.97	8.05
Spostamento di compressione a rottura	mm	0.47	0.52	1.18	0.72
Resistenza a trazione indiretta ITS_{dry}	N/mm ²	0.32	0.31	0.30	0.31
Deformazione unitaria di compressione a rottura	-	0.0031	0.0035	0.0079	0.0048
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{dry}	N/mm ²	161.4	138.1	60.6	120.0

Risultati della prova di sensibilità all'acqua della miscela a 25°C

CARATTERISTICHE MECCANICHE	Campione n°1	Campione n°2	Campione n°3	Valori medi
Sollecitazione di rottura kN	8.93	9.36	8.28	8.86
Spostamento di compressione a rottura mm	1.18	1.26	0.96	1.13
Resistenza a trazione indiretta ITS_{wet} N/mm ²	0.34	0.36	0.31	0.34
Deformazione unitaria di compressione a rottura -	0.0079	0.0084	0.0064	0.0076
Coefficiente di trazione indiretta CTI_{wet} N/mm ²	67.9	67.7	76.2	70.6
Rapporto di resistenza a trazione indiretta $ITSR$ %	108.6			

Caratteristiche di rigidità della miscela

Moduli di rigidità

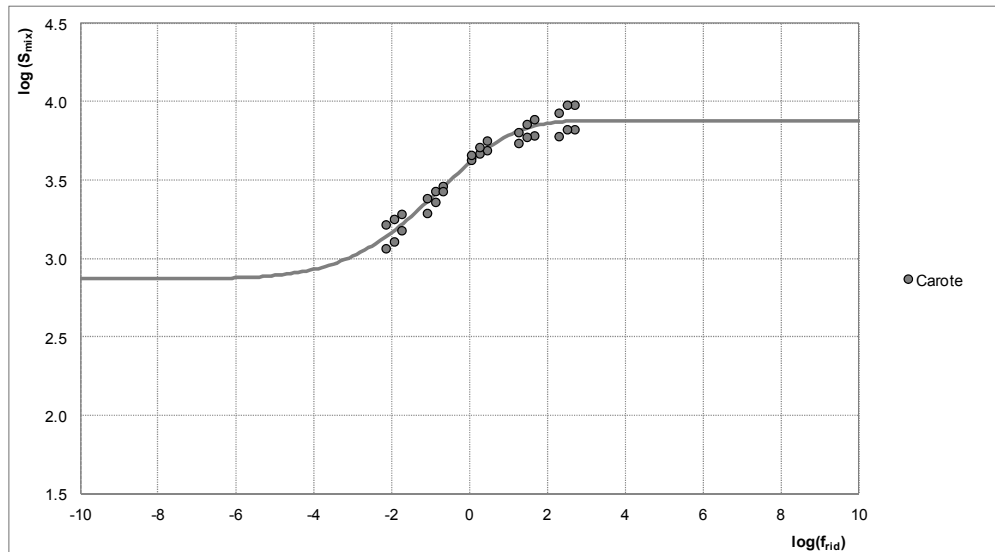
TEMPERATURA [°C]	FREQUENZA [MPa]	MODULI DI RIGIDEZZA M_R [MPa]	
		Carota n°1	Carota n°2
2	2.8	6681	9578
	1.8	6679	9572
	1.1	6040	8515
10	2.8	6103	7748
	1.8	5973	7215
	1.1	5461	6404
20	2.8	4913	5661
	1.8	4684	5146
	1.1	4265	4585
30	2.8	2905	2693
	1.8	2697	2300
	1.1	2430	1954
40	2.8	1928	1517

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

TEMPERATURA [°C]	FREQUENZA [MPa]	MODULI DI RIGIDEZZA M_R [MPa]	
		Carota n°1	Carota n°2
	1.8	1790	1287
	1.1	1652	1164

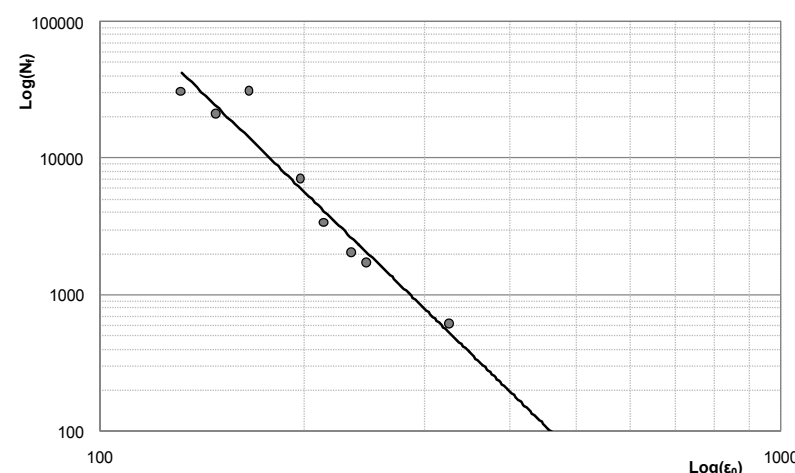
Curve maestre

PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE CURVE MAESTRE					
	S_{max} [MPa]	S_{min} [MPa]	β	γ	ΔH [J/mole]
Carote	7608	744	9.54	6.04	193



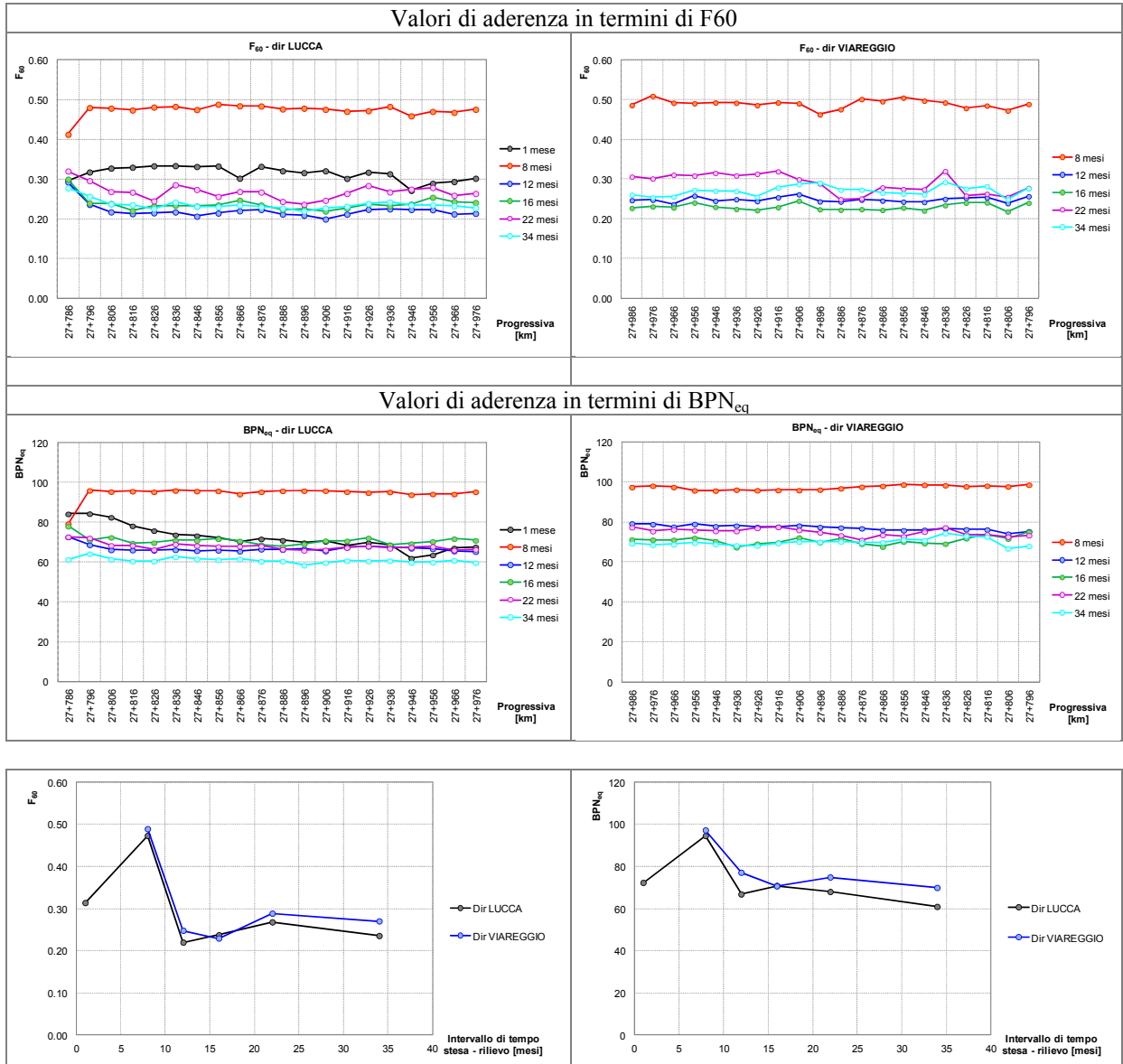
Moduli di Rigidezza M_R [MPa]									
Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	2	10	1	2	10	1	2	10
Carote	7506	7561	7603	6455	6858	7402	4102	4726	6106

Resistenza a fatica

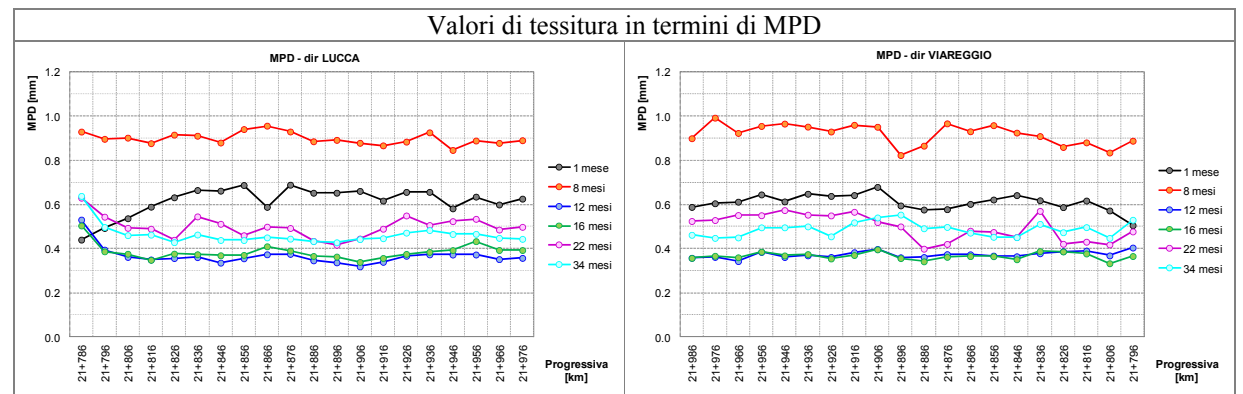
LEGGE DI FATICA		$\text{Log}(N_f) = 14.92 - 4.86 \cdot \text{Log}(\epsilon_0)$	$R^2 = 0.94$
Deformazione iniziale ϵ_0 [$\mu\epsilon$]	Numero cicli a rottura N_f		
132	31000		
149	21000		
165	30500		
197	7000		
214	3400		
235	2000		
247	1700		
327	600		

3.2 MONITORAGGIO – PROVE IN SITO

3.2.1 ADERENZA

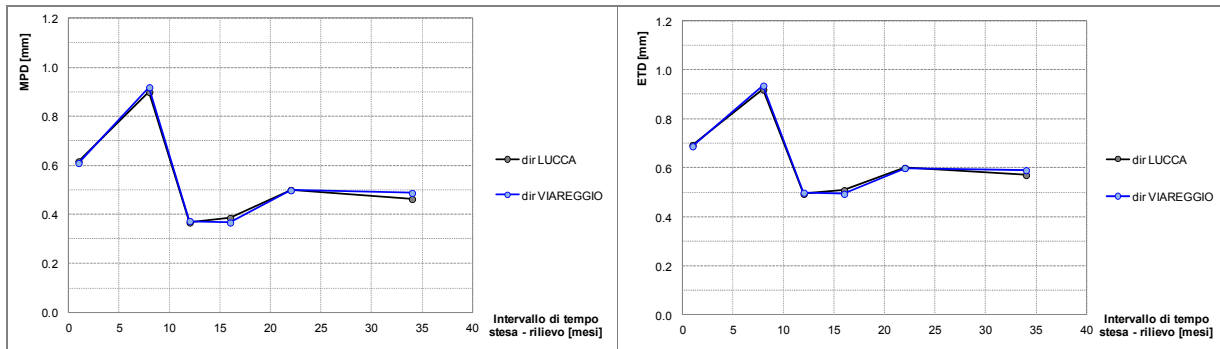
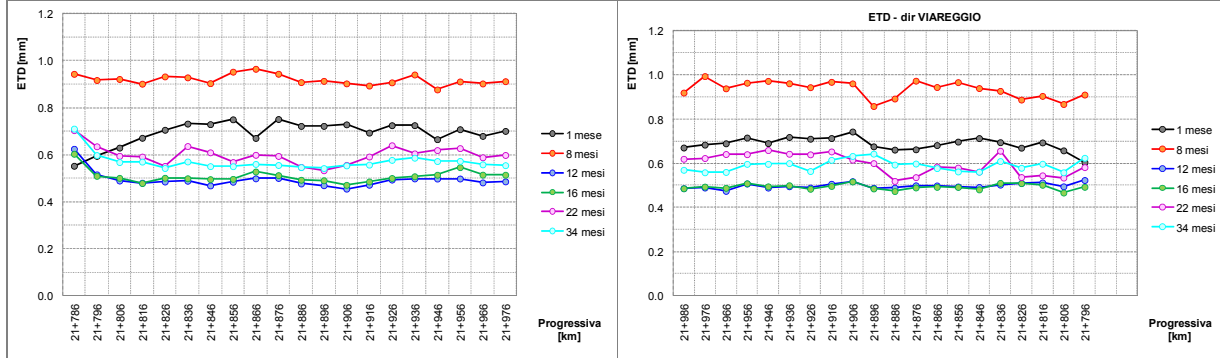


3.2.2 TESSITURA

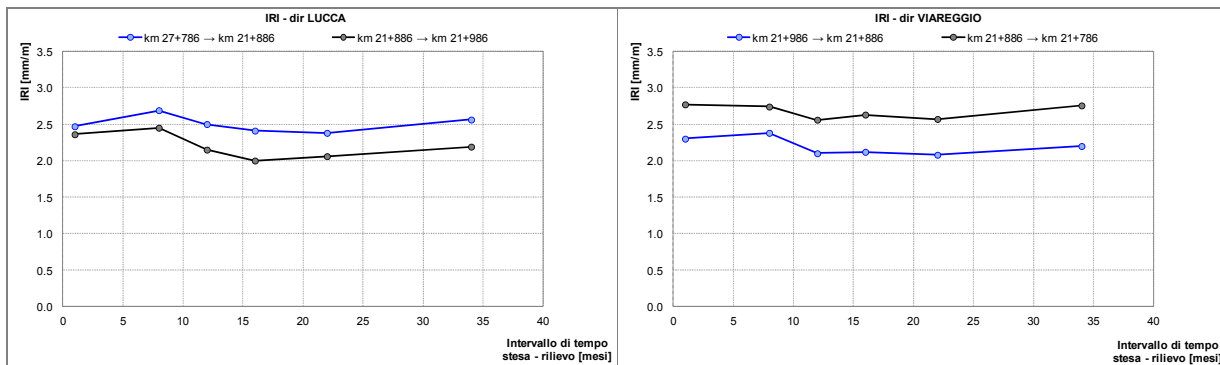


Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

Valori di tessitura in termini di ETD



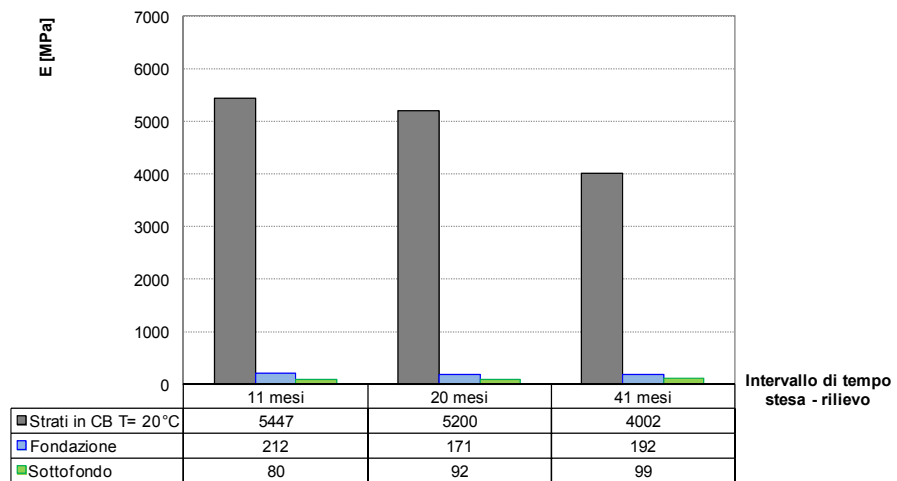
3.2.3 REGOLARITÀ LONGITUDINALE



3.2.4 MODULI ELASTICI DELLA PAVIMENTAZIONE

Intervallo di tempo stesa - rilievo	E_1 – strati in conglomerato bituminoso a $T=20^\circ\text{C}$	E_2 – strato di fondazione in misto granulare	E_3 – terreno di sottofondo
11 mesi	5447	212	80
20 mesi	5200	171	92
41 mesi	4002	192	99
Media	4883	192	90
Dev St	20	20	10
COV [%]	0.4	10.6	10.8

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

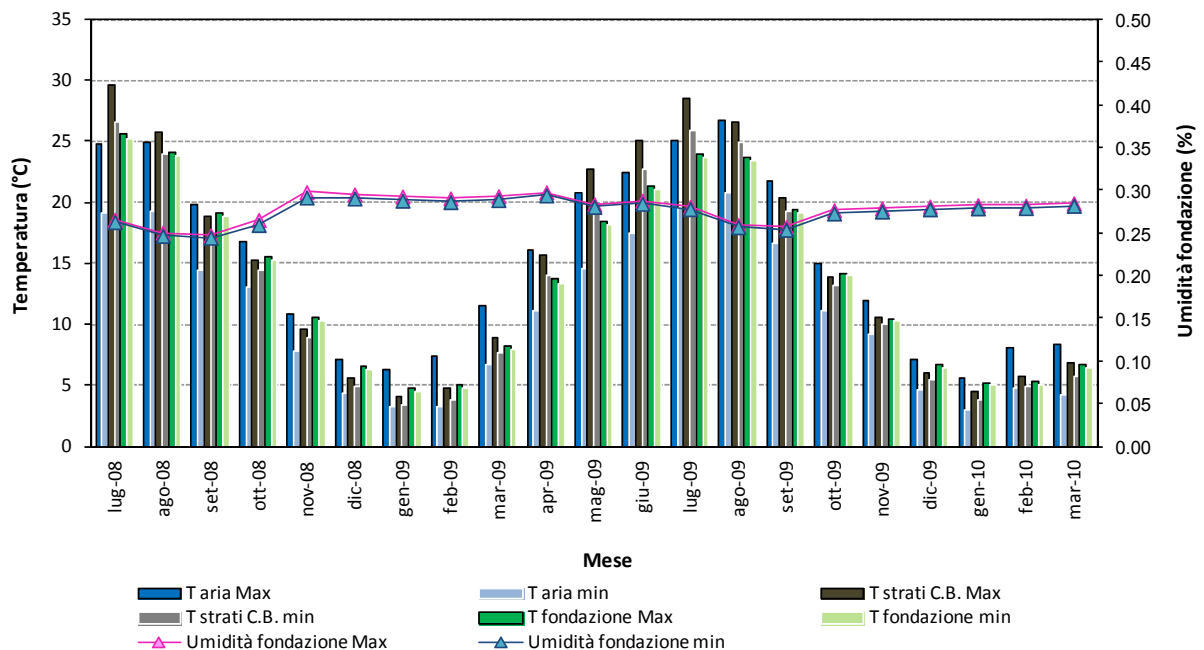


3.2.5 FATTORI AMBIENTALI

ANNO	MESE	TEMPERATURA dell'ARIA			TEMPERATURA del CONGLOMERATO BITUMINOSO ⁽¹⁾			TEMPERATURA dello STRATO di FONDAZIONE ⁽²⁾			UMIDITÀ dello STRATO di FONDAZIONE ⁽²⁾		
		max	min	media	max	min	media	max	min	media	max	min	media
2008	Luglio	24.8	19.2	21.9	29.6	26.6	28.0	25.6	25.3	25.4	0.27	0.26	0.26
	Agosto	25.0	19.3	22.3	26.0	24.1	25.0	24.2	23.9	24.1	0.25	0.25	0.25
	Settembre	20.2	14.9	17.5	19.4	18.1	18.7	19.6	19.3	19.4	0.25	0.24	0.25
	Ottobre	17.0	13.1	15.0	15.4	14.5	15.0	15.6	15.3	15.5	0.26	0.25	0.26
	Novembre	11.0	7.9	9.4	9.8	9.1	9.4	10.8	10.5	10.7	0.30	0.29	0.29
	Dicembre	7.3	4.7	5.9	5.9	5.2	5.5	6.7	6.5	6.6	0.30	0.29	0.29
2009	Gennaio	6.4	3.4	4.8	4.2	3.5	3.9	4.8	4.5	4.6	0.29	0.29	0.29
	Febbraio	7.4	3.3	5.3	4.7	3.8	4.3	5.0	4.7	4.9	0.29	0.29	0.29
	Marzo	11.3	6.2	8.8	8.6	7.4	8.0	8.0	7.6	7.8	0.29	0.29	0.29
	Aprile	16.2	11.1	13.6	15.8	14.1	14.9	13.6	13.3	13.5	0.30	0.29	0.30
	Maggio	20.8	14.5	17.9	22.5	19.9	21.2	18.2	17.9	18.0	0.28	0.28	0.28
	Giugno	22.2	17.3	19.8	25.0	22.7	23.8	21.3	21.0	21.1	0.29	0.28	0.29
	Luglio	25.0	19.6	22.5	28.6	25.9	27.2	24.0	23.7	23.8	0.28	0.28	0.28
	Agosto	26.7	20.7	23.9	26.7	25.0	25.8	23.7	23.5	23.6	0.26	0.26	0.26
	Settembre	21.9	16.7	19.3	20.6	19.4	20.0	19.5	19.2	19.4	0.26	0.25	0.26
	Ottobre	15.1	11.2	13.1	14.1	13.3	13.8	14.4	14.2	14.3	0.28	0.27	0.28
	Novembre	11.9	9.1	10.5	10.5	9.9	10.2	10.4	10.2	10.3	0.28	0.28	0.28
	Dicembre	6.7	4.0	5.3	5.8	5.1	5.5	6.7	6.4	6.6	0.28	0.28	0.28
2010	Gennaio	5.7	3.1	4.3	4.6	4.0	4.3	5.4	5.2	5.3	0.28	0.28	0.28
	Febbraio	8.1	4.7	6.2	5.8	4.9	5.4	5.4	5.1	5.2	0.28	0.28	0.28
	Marzo	8.3	4.3	6.1	6.9	5.8	6.4	6.7	6.4	6.6	0.28	0.28	0.28

⁽¹⁾ Rilevata alla profondità di 9 cm dal piano stradale
⁽²⁾ Rilevata alla profondità di 30 cm dal piano stradale

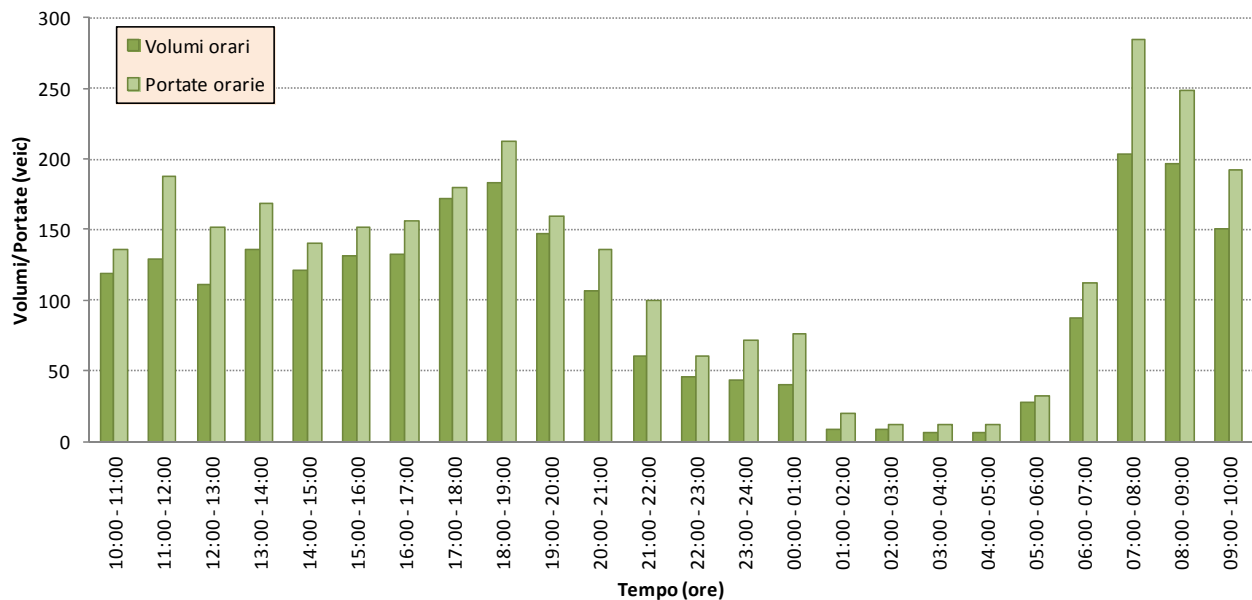
SITO DI STUDIO DELLA PROVINCIA DI LUCCA
SRT 439 Sarzanese Valdera - km 21+787/21+987
Temperature mensili medie



3.2.6 DATI DI TRAFFICO

GIORNO	ORA	VOLUMI ORARI	VOLUMI LEGGERI	% MEZZI PESANTI	TASSI DI FLUSSO	PHF
09/05/2011	10:00 - 11:00	119	111	6.7	136	0.88
	11:00 - 12:00	129	118	8.5	188	0.69
	12:00 - 13:00	111	100	9.9	152	0.73
	13:00 - 14:00	136	126	7.4	168	0.81
	14:00 - 15:00	121	106	12.4	140	0.86
	15:00 - 16:00	131	120	8.4	152	0.86
	16:00 - 17:00	132	123	6.8	156	0.85
	17:00 - 18:00	172	161	6.4	180	0.96
	18:00 - 19:00	183	177	3.3	212	0.86
	19:00 - 20:00	147	138	6.1	160	0.92
	20:00 - 21:00	107	105	1.9	136	0.79
	21:00 - 22:00	61	59	3.3	100	0.61
	22:00 - 23:00	46	46	0.0	60	0.77
	23:00 - 24:00	44	44	0.0	72	0.61
10/05/2012	00:00 - 01:00	40	40	0.0	76	0.53
	01:00 - 02:00	9	9	0.0	20	0.45
	02:00 - 03:00	9	9	0.0	12	0.75
	03:00 - 04:00	6	6	0.0	12	0.50
	04:00 - 05:00	6	5	16.7	12	0.50
	05:00 - 06:00	28	26	7.1	32	0.88
	06:00 - 07:00	87	85	2.3	112	0.78
	07:00 - 08:00	203	188	7.4	284	0.71
	08:00 - 09:00	197	180	8.6	248	0.79
	09:00 - 10:00	150	141	6.0	192	0.78
TGM		2374	2223	6.4		

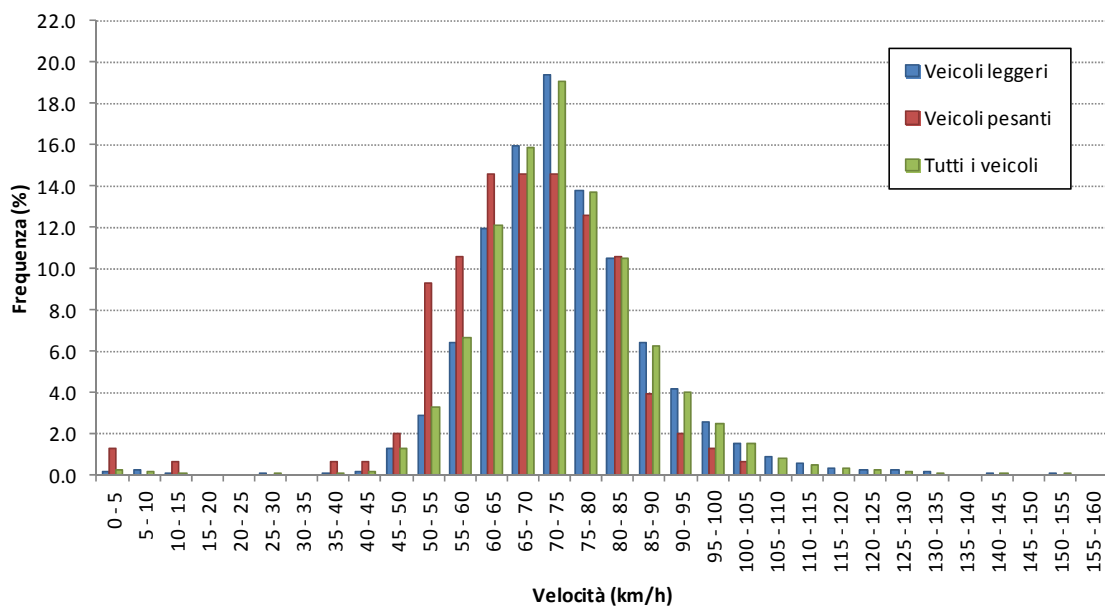
VOLUMI ORARI E TASSI DI FLUSSO



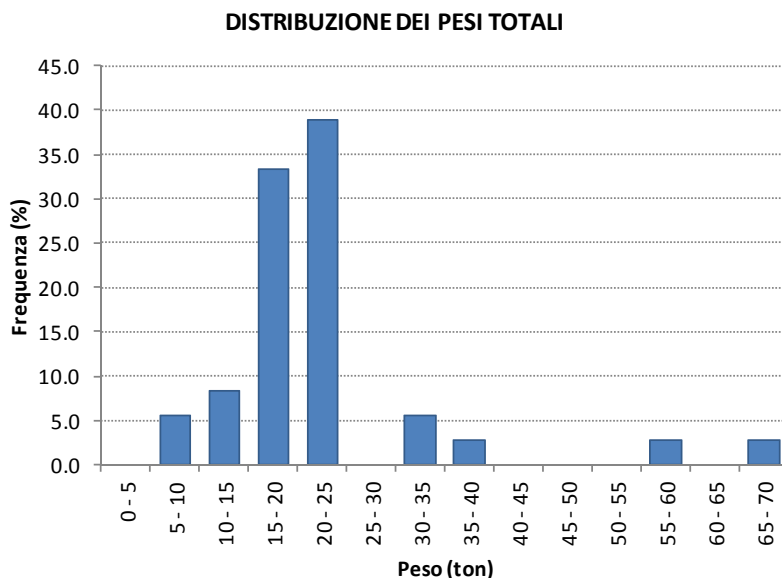
Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

CLASSI DI VELOCITA' (km/h)	TUTTI I VEICOLI		VEICOLI LEGGERI		VEICOLI PESANTI	
	FREQUENZA					
	Assoluta.	%	Assoluta.	%	Assoluta.	%
0 - 5	6	0.3	4	0.2	2	1.3
5 - 10	5	0.2	5	0.2	0	0.0
10 - 15	2	0.1	1	0.0	1	0.7
15 - 20	0	0.0	0	0.0	0	0.0
20 - 25	0	0.0	0	0.0	0	0.0
25 - 30	1	0.0	1	0.0	0	0.0
30 - 35	0	0.0	0	0.0	0	0.0
35 - 40	2	0.1	1	0.0	1	0.7
40 - 45	5	0.2	4	0.2	1	0.7
45 - 50	31	1.3	28	1.3	3	2.0
50 - 55	79	3.3	65	2.9	14	9.3
55 - 60	158	6.7	142	6.4	16	10.6
60 - 65	287	12.1	265	11.9	22	14.6
65 - 70	376	15.8	354	15.9	22	14.6
70 - 75	452	19.0	430	19.3	22	14.6
75 - 80	326	13.7	307	13.8	19	12.6
80 - 85	250	10.5	234	10.5	16	10.6
85 - 90	148	6.2	142	6.4	6	4.0
90 - 95	95	4.0	92	4.1	3	2.0
95 - 100	60	2.5	58	2.6	2	1.3
100 - 105	36	1.5	35	1.6	1	0.7
105 - 110	20	0.8	20	0.9	0	0.0
110 - 115	12	0.5	12	0.5	0	0.0
115 - 120	7	0.3	7	0.3	0	0.0
120 - 125	6	0.3	6	0.3	0	0.0
125 - 130	5	0.2	5	0.2	0	0.0
130 - 135	3	0.1	3	0.1	0	0.0
135 - 140	0	0.0	0	0.0	0	0.0
140 - 145	1	0.0	1	0.0	0	0.0
145 - 150	0	0.0	0	0.0	0	0.0
150 - 155	1	0.0	1	0.0	0	0.0
155 - 160	0	0.0	0	0.0	0	0.0
VELOCITA' (km/h)						
MEDIA	74.2		74.6		68.4	
DEV. ST.	14.0		13.9		14.8	
85° PERCENTILE	87.0		87.0		81.5	

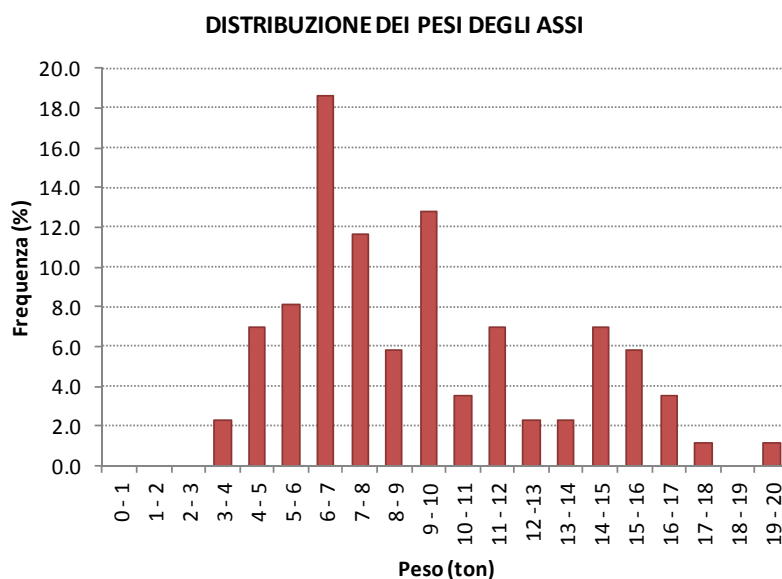
DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITA'



PESI TOTALI		
CLASSI DI PESO (ton)	FREQUENZA	
	Assoluta.	%
0 - 5	0	0.0
5 - 10	2	5.6
10 - 15	3	8.3
15 - 20	12	33.3
20 - 25	14	38.9
25 - 30	0	0.0
30 - 35	2	5.6
35 - 40	1	2.8
40 - 45	0	0.0
45 - 50	0	0.0
50 - 55	0	0.0
55 - 60	1	2.8
60 - 65	0	0.0
65 - 70	1	2.8



PESI SINGOLI ASSI		
CLASSI DI PESO (ton)	FREQUENZA	
	Assoluta.	%
0 - 1	0	0.0
1 - 2	0	0.0
2 - 3	0	0.0
3 - 4	2	2.3
4 - 5	6	7.0
5 - 6	7	8.1
6 - 7	16	18.6
7 - 8	10	11.6
8 - 9	5	5.8
9 - 10	11	12.8
10 - 11	3	3.5
11 - 12	6	7.0
12 - 13	2	2.3
13 - 14	2	2.3
14 - 15	6	7.0
15 - 16	5	5.8
16 - 17	3	3.5
17 - 18	1	1.2
18 - 19	0	0.0



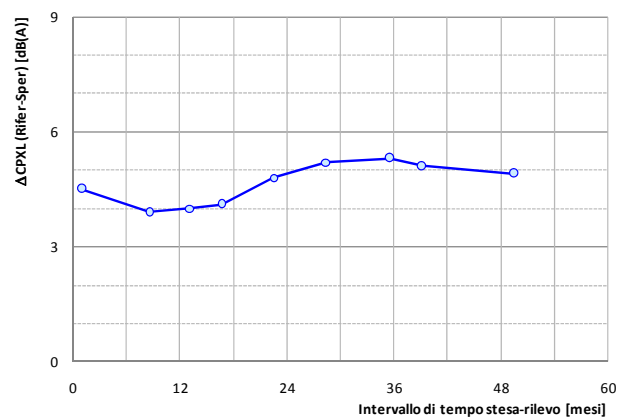
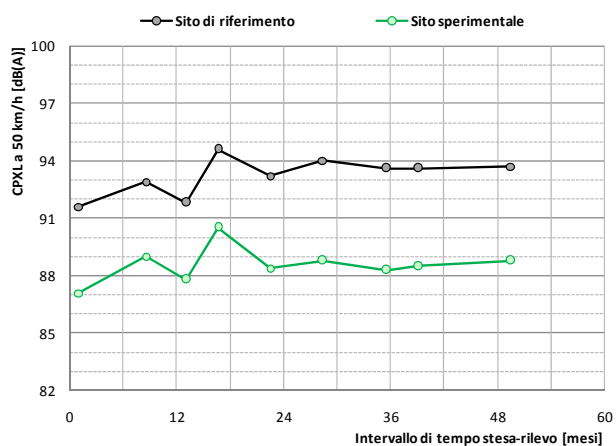
3.2.7 PRESTAZIONI ACUSTICHE

3.2.7.1 Rumore da rotolamento – CPX

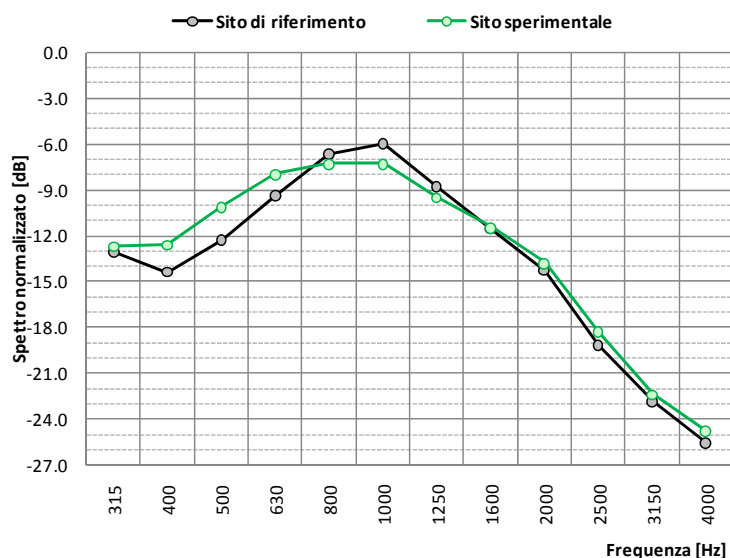
Data rilevamento	Intervallo di tempo stesa-rilevamento [mesi]	Livello di rumore da rotolamento – CPXL a 50 km/h [dB(A)]		
		Sito di riferimento	Sito sperimentale	Differenza sito rifer-sito sperim
luglio-08	1	91.6	87.1	4.5
febbraio-09	9	92.9	89.0	3.9
luglio-09	13	91.8	87.8	4.0

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

Data rilevamento	Intervallo di tempo stesa-rilevamento [mesi]	Livello di rumore da rotolamento – CPXL a 50 km/h [dB(A)]		
		Sito di riferimento	Sito sperimentale	Differenza sito rifer-sito sperimentale
ottobre-09	17	94.6	90.5	4.1
aprile-10	22	93.2	88.4	4.8
ottobre-10	28	94.0	88.8	5.2
maggio-11	36	93.6	88.3	5.3
settembre-11	39	93.6	88.5	5.1
luglio-12	50	93.7	88.8	4.9
Media		93.2	88.6	4.6
Dev St		1.0	0.9	0.5
COV [%]		1.1	1.0	11.6

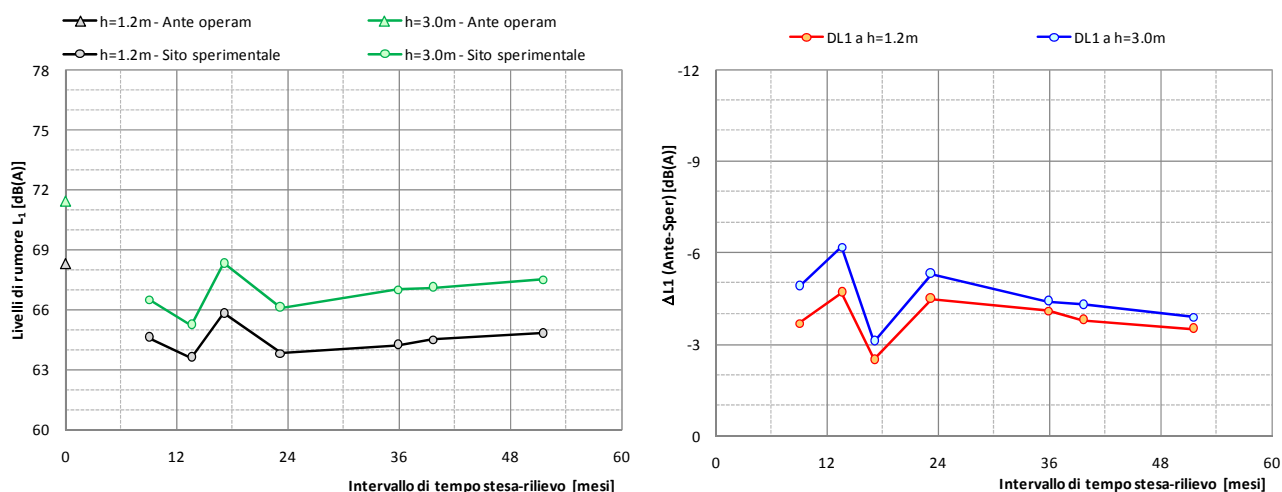


Spettri normalizzati		
Frequenza [Hz]	Sito di riferimento [dB]	Sito Sperimentale [dB]
315	-13.1	-12.7
400	-14.4	-12.6
500	-12.3	-10.1
630	-9.4	-8.0
800	-6.7	-7.3
1000	-6.0	-7.3
1250	-8.8	-9.5
1600	-11.6	-11.5
2000	-14.3	-13.8
2500	-19.2	-18.3
3150	-22.9	-22.4
4000	-25.6	-24.8



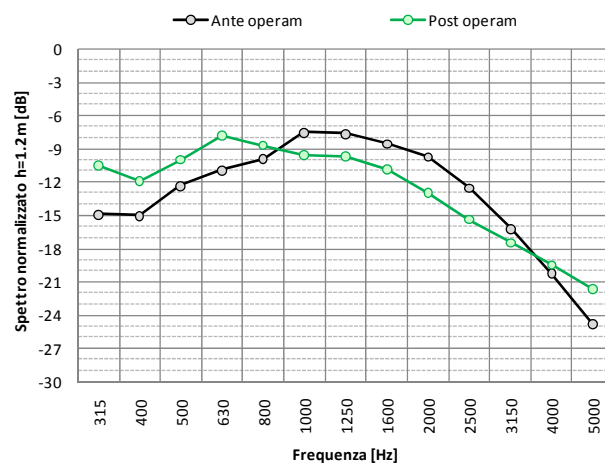
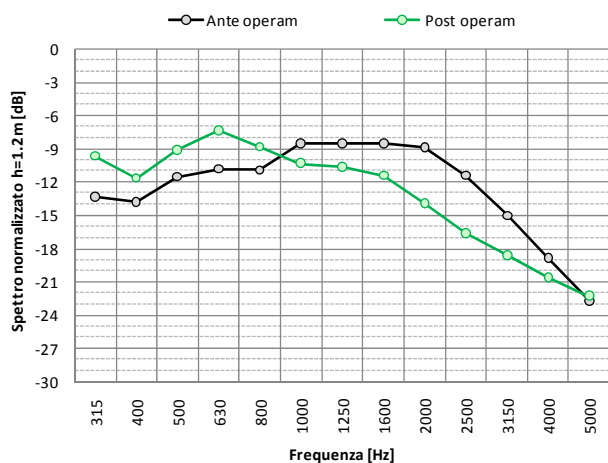
3.2.7.2 Livello di rumore a bordo strada – SPB

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilevo [mesi]	Livelli di rumore L_1 a 50 km/h [dB(A)]			
		L_1 a h= 1.2 m	ΔL_1 a h= 1.2 m	L_1 a h= 3.0 m	ΔL_1 a h= 3.0 m
febbraio-06	Ante operam	68.3		71.4	
febbraio-09	9	64.6	-3.7	66.5	-4.9
luglio-09	14	63.6	-4.7	65.2	-6.2
ottobre-09	17	65.8	-2.5	68.3	-3.1
aprile-10	23	63.8	-4.5	66.1	-5.3
maggio-11	36	64.2	-4.1	67.0	-4.4
settembre-11	40	64.5	-3.8	67.1	-4.3
agosto-12	51	64.8	-3.5	67.5	-3.9



Spettri normalizzati a 50 km/h				
Frequenza [Hz]	h=1.2 m		h=3.0 m	
	Ante operam [dB]	Post operam [dB]	Ante operam [dB]	Post operam [dB]
315	-13.3	-9.6	-14.9	-10.5
400	-13.8	-11.6	-15.0	-11.9
500	-11.5	-9.1	-12.3	-10.0
630	-10.8	-7.3	-10.9	-7.8
800	-10.9	-8.8	-9.9	-8.7
1000	-8.5	-10.3	-7.5	-9.6
1250	-8.5	-10.6	-7.6	-9.7
1600	-8.5	-11.4	-8.5	-10.9
2000	-8.9	-13.9	-9.7	-13.0
2500	-11.4	-16.6	-12.5	-15.4
3150	-15.0	-18.6	-16.2	-17.5
4000	-18.8	-20.6	-20.2	-19.5
5000	-22.7	-22.3	-24.8	-21.7

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca



3.2.7.3 Coefficiente di assorbimento acustico – metodo Adrienne

Coefficiente di assorbimento acustico							
Frequenza [Hz]	Intervallo di tempo stesa-rilievo						Valor medio
	2 mesi	8 mesi	17 mesi	23 mesi	35 mesi	42 mesi	
250	0.01	0.00	0.15	0.06	0.13	0.02	0.06
315	0.08	0.02	0.13	0.11	0.15	0.05	0.09
400	0.18	0.11	0.10	0.16	0.21	0.09	0.14
500	0.40	0.23	0.04	0.02	0.23	0.14	0.18
630	0.31	0.25	0.24	0.00	0.12	0.06	0.16
800	0.03	0.08	0.05	0.15	0.26	0.19	0.13
1000	0.09	0.06	0.01	0.12	0.08	0.02	0.06
1250	0.16	0.13	0.09	0.09	0.16	0.05	0.11
1600	0.19	0.07	0.11	0.16	0.15	0.05	0.12
2000	0.23	0.04	0.04	0.18	0.13	0.02	0.11
2500	0.19	0.13	0.20	0.20	0.22	0.09	0.17
3150	0.34	0.18	0.24	0.18	0.29	0.12	0.23
4000	0.29	0.31	0.07	0.23	0.33	0.19	0.24

Progetto Leopoldo – Caratterizzazione sito sperimentale della Provincia di Lucca

