



**Progetto INTERREG IV
Pavimentazione rivestimenti
e illuminazione innovativi per gallerie
IBBT (ID 5273)**

**Stato di avanzamento
delle attività di laboratorio
al 31.05. 2012**

Ancona 31/05/2012

Prof. Ing. Maurizio BOCCI

Sommario

Introduzione	3
Le pavimentazioni chiare in galleria	4
Programma sperimentale.....	6
Risultati sperimentali.....	7
Caratterizzazione degli aggregati	7
Caratterizzazione dei leganti	11
Proprietà fotometriche.....	12
Progetto SHRP della miscela	16
Bibliografia.....	22

Introduzione

Nell'ambito del progetto INTERREG IV - Pavimentazione, rivestimenti e illuminazione innovativi per gallerie, tra le attività a carico della Provincia Autonoma di Bolzano vengono valutate le proprietà meccaniche e fotometriche di tappeti di usura chiari per la pavimentazione di gallerie stradali, al fine di ridurre i consumi energetici legati all'illuminazione e di migliorare le condizioni di sicurezza.

Le soluzioni progettuali esaminate fanno riferimento a due differenti tipologie di tappeti: la prima consiste nella realizzazione di un'usura chiusa caratterizzata da aggregati chiari e legante trasparente; la seconda soluzione riguarda la stesa di un tappeto di usura drenante, ad elevata porosità, successivamente intasato con una malta cementizia fluida di colore bianco.

La sperimentazione, che vede coinvolti il Laboratorio Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano e il Laboratorio di Strade dell'Università Politecnica delle Marche (Ancona), prevede prove di caratterizzazione di aggregati e leganti, il progetto SHRP (Strategic Highway Research Programm) della miscela, prove di valutazione delle proprietà meccaniche e prove di luminanza sulle miscele compattate in laboratorio. Il fine perseguito è di determinare la miscela ottimale dal punto di vista prestazionale e fotometrico.

Le pavimentazioni chiare in galleria

Negli ultimi anni è andato via via crescendo l'interesse per l'applicazioni di pavimentazioni chiare nelle gallerie stradali, al fine di ottenere una riduzione dei consumi energetici legati all'illuminazione ed un miglioramento le condizioni di sicurezza. Tali benefici sono legati alle elevate proprietà fotometriche dei manti di usura chiari. Secondo l'European Asphalt Pavement Association (EAPA) le pavimentazioni chiare risultano superiori rispetto ai tradizionali conglomerati bituminosi "neri" sia in termini di luminanza (capacità di riflettere le onde luminose) che di contrasto con la segnaletica orizzontale [1]. Inoltre recenti indagini sperimentali hanno valutato un risparmio energetico nell'illuminazione delle gallerie fino al 30 ÷ 40% in presenza di superfici chiare [2].

Come è noto la superficie stradale viene "usurata" dal contatto con gli pneumatici dei veicoli in transito. Subito dopo la stesa del tappeto di usura gli aggregati lapidei sono ricoperti dal legante, ma dopo pochi mesi, gran parte del legante viene asportato e vengono messe a nudo le facce superiori degli aggregati. Il legante che resta visibile è quello collocato in forma di malta (legante, filler e parte fina della sabbia) o di mastice (legante e filler) tra gli interstizi dei granuli più grossi. Tale fenomeno è più o meno rapido in relazione alla natura degli aggregati ed al tipo di legante utilizzato. Ne deriva che la colorazione più o meno chiara della pavimentazione dipende prevalentemente dal colore degli aggregati e dal colore del legante.

Le pavimentazioni chiare devono pertanto essere costituite da aggregati e da leganti di colore chiaro.

Mentre per gli aggregati la scelta del materiale da utilizzare dipende dalla reperibilità nella zona e dall'incidenza dei costi di trasporto, per il legante la questione è più complessa.

Nei paesi tradizionalmente legati alla realizzazione di pavimentazioni rigide in calcestruzzo, il tipo di legante viene ricercato tra i vari tipi di cemento. La pavimentazione in calcestruzzo oltre a garantire in generale una vita utile molto lunga, nelle gallerie offre anche la peculiarità di essere ignifuga, con evidenti vantaggi in caso di incendio. Per contro si tratta di una pavimentazione molto costosa, difficile da realizzare e soprattutto con notevoli difficoltà di manutenzione in relazione al mantenimento dei livelli di aderenza da garantire per la sicurezza degli utenti.

Nel campo delle pavimentazioni flessibili i leganti da per la realizzazione di pavimentazioni chiare possono essere bitumi o resine sintetiche a basso tenore di asfaltini che assumono una colorazione ambrata molto chiara.

L'introduzione sul mercato di leganti chiari nasce dall'esigenza di integrare le pavimentazioni stradali con il paesaggio circostante, sia urbano che extraurbano, mitigando l'impatto estetico altrimenti provocato dalla colorazione scura dei leganti bituminosi tradizionali, che penalizza gli ambienti di elevato valore naturale o storico monumentale.

Le proprietà fotometriche di una pavimentazione flessibile chiara dipendono da:

- tipologia di legante – a seconda della natura chimica e delle tecniche di produzione i leganti deasfaltizzati possono avere una differente limpidezza, luminosità e tonalità di colore;
- presenza di pigmenti (tipo biossido di titanio) o di filler “bianchi” (tipo calce idrata) che conferiscono una colorazione molto chiara al mastice filler – bitume;
- tipologia di aggregati: inerti di diversa mineralogia assumono colorazioni differenti che influenzano la luminanza della pavimentazione in virtù della trasparenza del legante;
- tipologia della miscela e aggregati: tappeti di usura tradizionali (ricchi di sabbia) e splittmastix assumono una differente tonalità di colore legata alla diversa granulometria (in particolare al contenuto di frazione fine) e al contenuto di legante.

Tra le soluzioni con pavimentazioni rigide e quelle con pavimentazioni flessibili si inseriscono i tappeti di usura semiflessibili. Si tratta di conglomerati bituminosi fortemente porosi intasati con malte cementizie di colore chiaro. Tale tecnica, generalmente utilizzata in ambito aeroportuale, consiste nella stesa di un tappeto di usura drenante (con una percentuale di vuoti compresa tra il 20 e il 30%) e nella successiva saturazione dello strato con una malta cementizia fluida, fibrorinforzata, di colore chiaro. La sovrastruttura ottenuta risulta estremamente performante poiché il materiale eredita sia la flessibilità e la duttilità di un conglomerato bituminoso che la rigidità di un calcestruzzo. Inoltre la pavimentazione rimane di colorazione chiara per la presenza in superficie della malta cementizia.

Programma sperimentale

Alla luce delle differenti tecnologie per la realizzazione di tappeti di usura chiari è stato definito un programma sperimentale che permettesse di identificare la tipologia di aggregato, legante e miscela ottimali dal punto di vista fotometrico e prestazionale.

A tal fine sono stati valutate:

- differenti tipologie di aggregati: per l'aggregato grosso sono stati ipotizzati inerti porfirici, dioritici, granitici e basaltici mentre per l'aggregato fino è stata sempre utilizzata sabbia calcarea;
- differenti tipologie di leganti: è stato valutato l'impiego di due leganti trasparenti, Kromatis e Biokromatis. Inoltre è stata studiata anche miscela legata con bitume tradizionale ed intasata con malta cementizia;
- differenti tipologie di miscele: sono state valutate le proprietà di tappeti di usura chiuso e di tipo Splittmastix prodotti con leganti trasparenti e di tappeti di usura semiflessibili realizzati con la tecnica del "drenante intasato";
- differenti tipologie di filler: sono state oggetto di studio miscele contenenti filler di recupero, filler contenente calce idrata (Calfill) e filler industriale (Omya);
- la presenza di biossido di titanio (TiO_2) come pigmento di colorazione del conglomerato.

Nella tabella 1 si riassume il programma sperimentale ipotizzato.

Prove di caratterizzazione degli aggregati	
Analisi granulometrica	UNI EN 933-1
Determinazione dell'indice di appiattimento	UNI EN 933-3
Determinazione dell'indice di forma	UNI EN 933-4
Determinazione della massa volumica e dell'assorbimento	UNI EN 1097-6
Determinazione della resistenza alla frammentazione (prova Los Angeles);	UNI EN 1097-2
Determinazione del valore di levigabilità	UNI EN 1097-8
Determinazione del coefficiente di luminanza sul materiale asciutto e bagnato	-
Prove di caratterizzazione dei leganti trasparenti	
Determinazione della penetrazione	UNI EN 1426
Determinazione del punto di rammollimento	UNI EN 1427
Determinazione del ritorno elastico	UNI EN 13398
Determinazione del punto di rottura secondo il metodo Fraass	UNI EN 12593
Determinazione della viscosità	UNI EN 13702

Valori dopo RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test)	UNI EN 12607-1
Determinazione della variazione della massa	UNI EN 12607-1
Determinazione della penetrazione residua	UNI EN 1426
Determinazione del punto di rammollimento	UNI EN 1427
Determinazione dell'incremento del punto di rammollimento	UNI EN 1427
Prove fotometriche sulle miscele (prima e dopo sabbiatura dei campioni di prova)	
Determinazione del coefficiente di luminanza C_L	
Determinazione del coefficiente di luminanza retroriflessa R_L	
Determinazione del coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa Q_D	
Determinazione del fattore di luminanza β	
Prove di caratterizzazione meccanica della miscela di progetto	
Determinazione della resistenza a rottura per trazione indiretta	UNI EN 12967-23
Determinazione del modulo di rigidità in configurazione di trazione indiretta	UNI EN 12967-26
Determinazione della resistenza all'abrasione (prova Cantabro)	UNI EN 12967-17
Determinazione della resistenza all'azione dell'acqua	UNI EN 12967-12
Determinazione della resistenza a cicli di gelo-disgelo	AASHTO T 283
Determinazione della resistenza all'ormaiamento	UNI EN 12967-22
Determinazione della skid resistance	

Tabella 1: Programma sperimentale

Risultati sperimentali

Caratterizzazione degli aggregati

Gli aggregati grossi (trattenuti al setaccio da 4 mm) sono stati scelti tra quelli comunemente ritenuti accettabili per l'impiego nei tappeti di usura, cioè quelli che garantiscono le migliori prestazioni in termini di resistenza alla frantumazione ed alla levigazione. Nello specifico sono stati esaminate 4 tipologie di aggregati grossi: basalto, diorite, granito e porfido grigio.

Gli aggregati fini sono stati sempre costituiti da materiale calcareo di colore bianco (calcare massiccio).

Per il filler è stata valutata la differenza tra l'impiego di differenti prodotti: filler di recupero bianco (calcare massiccio), filler composto da calcare e calce idrata prodotto da Unicalce (Calfill), filler di carbonato di calcio naturale micronizzato in polvere prodotto dalla Omya.

In tabella 2 si riportano i risultati delle analisi granulometriche eseguite su ciascuna frazione di aggregato.

Apertura setacci (mm)	Passante (%)								
	porfido 8/12	porfido 4/8	basalto 8/12	basalto 4/8	diorite 8/12	diorite 4/8	granito 8/12	granito 4/8	sabbia calcarea
25	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
19	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
16	100.0	100.0	97.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	100.0	100.0	49.5	99.0	97.8	100.0	97.5	100.0	100.0
9.5	76.4	99.6	13.1	88.3	73.4	100.0	59.6	100.0	100.0
8	50.2	96.8	1.8	63.4	37.5	99.0	25.8	100.0	100.0
6.3	15.3	74.8	0.4	24.0	5.8	78.5	1.6	72.6	100.0
4.75	3.5	40.9	0.3	4.5	1.5	43.2	0.5	16.0	100.0
4	1.0	21.8	0.3	0.9	1.1	21.1	0.5	2.0	98.6
2	0.1	1.1	0.3	0.1	1.1	1.0	0.5	0.7	64.6
1	0.1	0.3	0.3	0.1	1.0	0.2	0.5	0.7	38.1
0.5	0.1	0.3	0.3	0.1	0.9	0.2	0.5	0.7	23.3
0.25	0.1	0.3	0.3	0.1	0.8	0.2	0.4	0.6	15.2
0.125	0.1	0.3	0.3	0.1	0.6	0.2	0.3	0.5	11.2
0.063	0.1	0.2	0.3	0.1	0.4	0.2	0.2	0.4	9.3

Tabella 2: Passanti percentuali delle singole pezzature

Per la realizzazione degli impasti (conglomerati bituminosi) di laboratorio si è scelto di proporzionare le diverse frazioni granulometriche in modo da rimanere all'interno dei fusi prescritti dal Capitolato Speciale d'Appalto per Lavori Stradali della Provincia Autonoma di Bolzano (tabella 3 e figure 1-3).

Tipo di tappeto	Tipo di aggregato grosso	Pezzature									
		porfido 8/12	porfido 4/8	basalto 8/12	basalto 4/8	diorite 8/12	diorite 4/8	granito 8/12	granito 4/8	sabbia calcarea	filler
Usura chiusa	Porfido	35 %	17 %	-	-	-	-	-	-	43 %	5 %
	Basalto	-	-	2 %	48 %	-	-	-	-	45 %	5 %
	Diorite	-	-	-	-	30 %	22 %	-	-	43 %	5 %
	Granito	-	-	-	-	-	-	35 %	17 %	43 %	5 %
Usura SMA	Porfido	39	25	-	-	-	-	-	-	27 %	9 %
	Basalto	-	-	3 %	58 %	-	-	-	-	30 %	9 %
	Diorite	-	-	-	-	35 %	30 %	-	-	26 %	9 %
	Granito	-	-	-	-	-	-	39 %	25 %	27 %	9 %
Usura drenante	Porfido	78 %	5 %	-	-	-	-	-	-	15 %	2 %
	Basalto	-	-	39 %	45 %	-	-	-	-	14 %	2 %
	Diorite	-	-	-	-	68 %	17 %	-	-	13 %	2 %
	Granito	-	-	-	-	-	-	65 %	20 %	13 %	2 %

Tabella 3: Proporzionamento delle singole pezzature

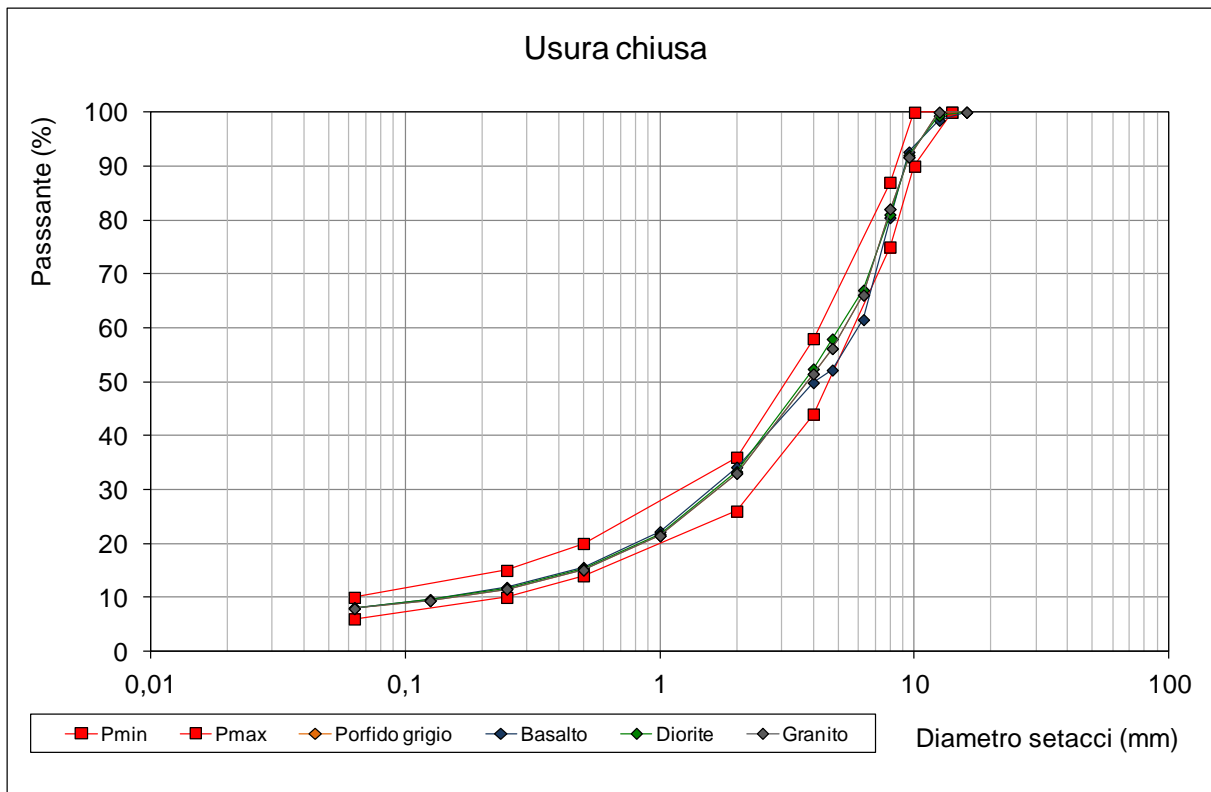


Figura 1: Curve granulometriche per la formazione di tappeti di usura chiusi

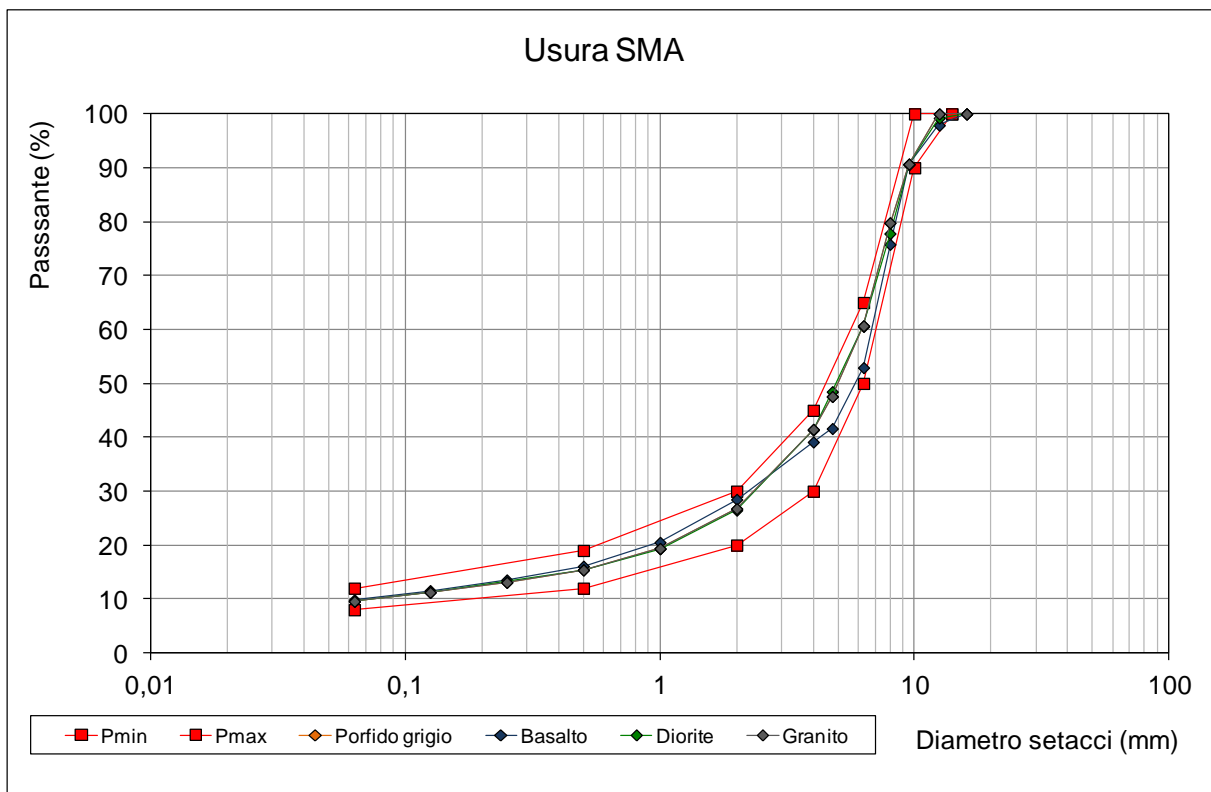


Figura 2: Curve granulometriche per la formazione di tappeti di usura SMA

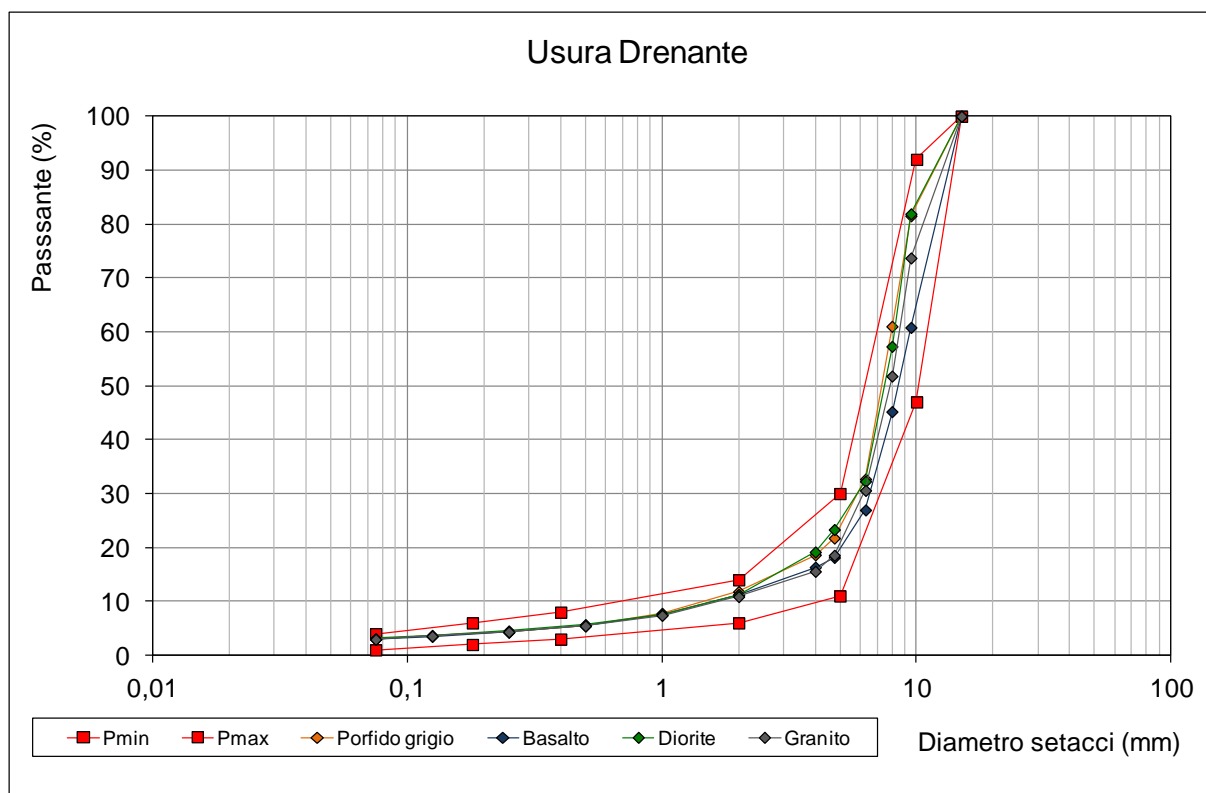


Figura 3: Curve granulometriche per la formazione di tappeti di usura drenanti

Nella successiva tabella 3 sono riportate le principali caratteristiche degli aggregati esaminati: indici di appiattimento e di forma, massa volumica apparente, assorbimento d'acqua, resistenza alla frammentazione (Los Angeles) e levigabilità accelerata (CLA).

Caratteristiche	Metodo di prova	Unità di misura	Porfido grigio	Basalto	Diorite	Granito	Sabbia calcarea
Indice di appiattimento	EN 933-3	%	-	-	-	-	/
Indice di forma	EN 933-4	%	-	-	-	-	/
Massa volumica apparente	EN 1097-6	[g / cm ³]	2.67	2.76	2.71	2.68	2.73
Assorbimento d'acqua	EN 1097-6	%	1.42	1.54	1.61	0.78	1.71
Resistenza alla frammentazione (Los Angeles)	EN 1097-2	%	17	13	14	34	/
Valore di levigabilità (CLA)	EN 1097-8	%	50	51	46	52	/

Tabella 3: Caratterizzazione meccanica degli aggregati

Sugli stessi aggregati, al fine di determinarne il contributo alla colorazione chiara del tappeto di usura, sono state eseguite le prove di luminanza in condizione di materiale asciutto e di materiale bagnato. I risultati delle prove eseguite sono riportati nella tabella 4.

Caratteristiche	Unità di misura	Porfido grigio	Basalto	Diorite	Granito
Valore di luminanza - materiale asciutto	cd/m ²	69,3	55,7	54,9	125,1
Valore di luminanza - materiale bagnato	cd/m ²	21,8	11	20,4	75,1

Tabella 4: Caratteristiche di luminanza degli aggregati

Caratterizzazione dei leganti

Per quanto attiene i leganti trasparenti sono stati analizzati i prodotti Kromatis e Biokromatis della ditta Total.

Il Kromatis è un bitume a cui sono stati tolti gli asfalteni e sono stati aggiunti polimeri elastomerici. Il Biokromatis si ottiene con lo stesso procedimento del Kromatis, ma i componenti aromatici vengono sostituiti con oli vegetali. Questo consente di ottenere un legante più chiaro e trasparente (figura 4 e figura 5).



Figura 4: Kromatis



Figura 5: Biokromatis

Nella tabella 5 sono riportati i risultati delle prove eseguite sui due tipi di bitumi trasparenti.

Caratteristiche	Metodo di prova	Unità di misura	Kromatis 35/50	BioKromatis
Penetrazione a 25°C	EN 1426	dmm	42	65
Punto di rammollimento (P.A.)	EN 1427	°C	53.8	49.2
Punto di rottura (Fraass)	EN 12593	°C	-	-
Viscosità dinamica 60°C	EN 13702	Pas	584	305
Viscosità dinamica 100°C	EN 13702	Pas	16.5	7.8
Viscosità dinamica 135°C	EN 13702	Pas	1.1	0.95
Viscosità dinamica 160°C	EN 13702	Pas	0.365	0.298
Ritorno elastico a 25°C	EN 13398	%	83	67
Caratteristiche dopo RTFOT EN 12607-1	Metodo di prova	Unità di misura	Kromatis 35/50	BioKromatis
Perdita di massa	EN 12607-1	%	-0.65	-0.73
Penetrazione a 25°C	EN 1426	dmm	27	44
Percentuale Penetrazione residua a 25°C	EN 1426	%	63	68
Punto di rammollimento (P.A.)	EN 1427	°C	55.1	47.8
Incremento punto di rammollimento	EN 1427	%	2	-3

Tabella 5: Caratterizzazione dei leganti trasparenti

Proprietà fotometriche

Per valutare in termini quantitativi la capacità dei conglomerati bituminosi chiari di riflettere le radiazioni luminose sono state utilizzate differenti grandezze fotometriche:

- luminanza (L): è la quantità luminosa che è prodotta oppure riflessa da una superficie di una certa estensione e si misura in $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$;
- coefficiente di luminanza retroriflessa (R_L): rappresenta la luminosità di una superficie orizzontale come viene percepita dai conducenti degli autoveicoli in condizioni di illuminazione con i proiettori dei propri veicoli e si misura in $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lux}^{-1}$;
- coefficiente di luminanza in condizioni di illuminazione diffusa (Q_d): rappresenta la luminosità di una superficie orizzontale come viene percepita dai conducenti degli autoveicoli in presenza di illuminazione stradale e si misura in $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lux}^{-1}$;
- fattore di luminanza β : definisce l'intensità luminosa apparente della superficie del campione rispetto alla luminosità di un riferimento fisso.

Al fine di valutare l'effetto dello spogliamento superficiale del tappeto, legato all'usura dovuta al traffico, le prove di misurazione delle grandezze fotometriche sono state previste sia sui campioni di conglomerato appena compattati che a seguito della sabbiatura superficiale delle lastre.

Nella tabella 6 sono riportati i risultati acquisiti su lastre di conglomerato bituminoso (300 mm x 300 mm) realizzate in laboratorio.



Figura 6: *Roller Compactor*



Figura 7: *Lastre compattata*

Miscela	Legante	Filler	Aggregato	L [cd·m ⁻²]	R _L [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	Q _d [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	β [-]
Usura chiusa	Bitume tradizionale	di recupero	Porfido grigio	3.11	2.9	31.5	2.9
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Porfido grigio	9.84	9.5	65.4	12.5
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Basalto	11.59	12.6	90.1	15.6
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Diorite	9.36	10.8	78.4	12.9
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Granito	11.21	8.8	76.6	15.2
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Porfido grigio	9.36	8.3	39.5	12.0
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Basalto	9.48	10.1	73.4	10.8
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Diorite	8.91	10.4	72.0	11.9
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Granito	11.98	11.3	80.3	14.4
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Porfido grigio	7.30	10.9	60.4	9.5
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Basalto	8.44	7.9	61.9	9.5
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Diorite	7.80	7.4	56.9	9.7
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Granito	9.57	8.5	62.9	12.3
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Porfido grigio	7.55	7.1	64.0	9.4
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Basalto	7.23	6.4	60.0	8.7
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Diorite	7.60	7.3	49.9	9.3
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Granito	8.68	7.1	76.3	9.1
Usura chiusa	Kromatis	Omya	Porfido grigio	10.57	13.3	71.0	11.9
Usura chiusa	Kromatis	Omya + 0.08% TiO ₂	Porfido grigio	13.33	11.9	81.3	17.0
Usura chiusa	Kromatis	Omya + 0.5% TiO ₂	Porfido grigio	20.36	15.6	79.8	25.0
Usura chiusa	Kromatis	Omya + 1.0% TiO ₂	Porfido grigio	21.48	16.8	75.6	27.1
Usura chiusa	Kromatis	Calfill + 0.08% TiO ₂	Porfido grigio	11.16	13.5	72.9	14.7
Usura chiusa	Biokromatis	di recupero	Porfido grigio	13.25	13.9	93.6	18.3
Usura chiusa	Biokromatis	Calfill	Porfido grigio	11.64	11.3	83.1	13.0
Usura SMA	Biokromatis	Calfill	Porfido grigio	8.48	8.6	59.9	11.5
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Porfido grigio	40.95	47.1	174.5	54.6
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Basalto	39.79	49.9	167.5	50.2
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Diorite	41.76	47.1	162.8	55.5
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Granito	43.13	62.9	196.5	56.8

Tabella 6: Risultati delle prove fotometriche

Di seguito si riporta una serie di istogrammi che mettono a confronto i valori di luminanza delle diverse miscele. Dal grafico in figura 8 si può osservare che:

- i conglomerati bituminosi chiari hanno una luminanza pari a circa 3 volte quella di un conglomerato bituminoso tradizionale;
- delle quattro tipologie di aggregato, il granito sembra garantire una luminanza leggermente superiore rispetto agli altri inerti, che assumono valori tra loro confrontabili;
- il tappeto di usura chiuso risulta migliore rispetto al tappeto di usura SMA in virtù della maggiore percentuale di frazione sabbiosa (di natura calcarea) più chiara;
- l'utilizzo del filler con calce (Calfill) in alternativa al filler di recupero non determina alcun incremento della luminanza della miscela;
- il tappeto di usura drenante intasato con malta cementizia risulta nettamente superiore rispetto al conglomerato prodotto con bitume trasparente in quanto, al termine dell'intasamento, la superficie rimane rivestita da un film di malta di colore bianco molto chiaro; tuttavia tale film dovrebbe essere rapidamente rimosso con il passaggio dei veicoli.

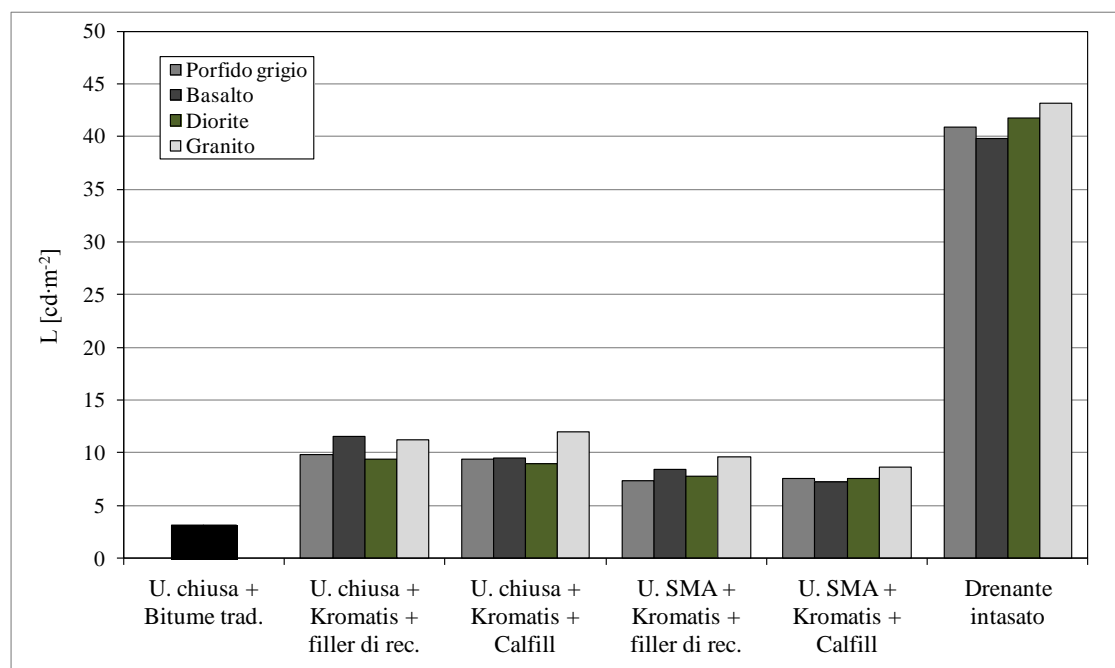


Figura 8: Risultati delle prove di luminanza

Nelle figure 9 e 10 si evidenziano rispettivamente l'influenza del legante Biokromatis rispetto al Kromatis e la presenza di filler Omya (in alternativa a Calfill) e di biossido di titanio (1,5% di TiO_2 rispetto al peso del legante).

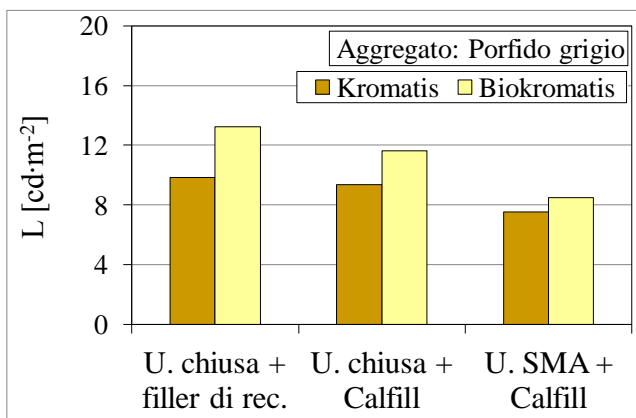


Figura 9: Influenza del legante Biokromatis

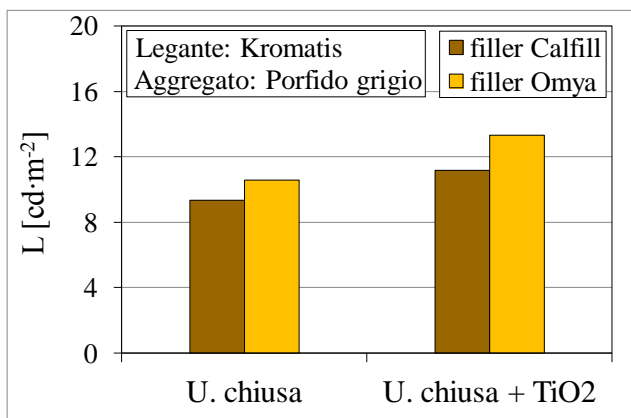


Figura 10: Influenza del filler Omya e del TiO₂

Dalla figura 9 si può osservare che il Biokromatis risulta migliore, in termini di luminanza delle miscele, rispetto al Kromatis, indipendentemente dalla tipologia di filler (di recupero o Calfill) e dalla tipologia di tappeto (chiuso o SMA).

La figura 8 mostra che il filler Omya permette di avere una luminanza superiore rispetto al filler Calfill, effetto che risulta amplificato mediante l'aggiunta di piccole percentuali (1,5% sul peso del legante) di biossido di titanio.

In figura 11 viene mostrato l'andamento della luminanza in funzione del contenuto di biossido di titanio. Dal grafico si può osservare che, al crescere del contenuto di TiO₂, la luminanza tende ad assumere un valore massimo asintotico. Si può dunque affermare che, per ottenere una pavimentazione con ottime proprietà fotometriche, è sufficiente un contenuto di biossido di titanio dello 0,5% sul peso degli aggregati.

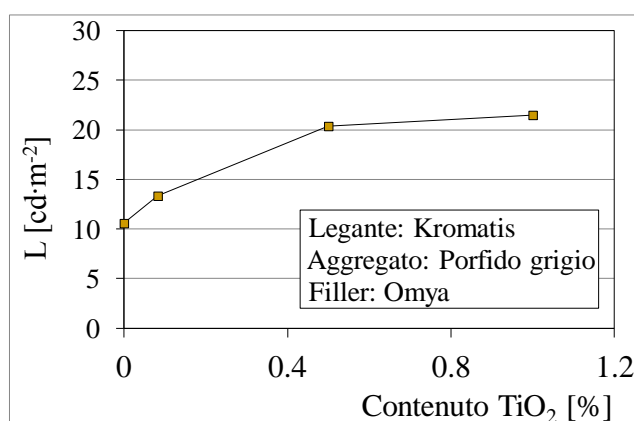


Figura 11: Luminanza in funzione del contenuto di TiO₂

Progetto SHRP della miscela

Alla luce dei risultati sperimentali acquisiti dalle prove eseguite su aggregati e leganti e dalle prove fotometriche condotte sulle diverse miscele, tenendo in considerazione la reperibilità dei materiali ed aspetti di natura tecnica ed economica, si è scelto per la realizzazione del tappeto chiaro in galleria, il conglomerato bituminoso del tipo **usura chiusa** con aggregati di **porfido grigio** e **sabbia calcarea**, legante di tipo **Kromatis**.

La percentuale di bitume nella miscela è stata definita mediante uno studio di mix design volumetrico secondo il metodo SHRP (Strategic Highway Research Programm). Tale studio è stato condotto sia sulla miscela con filler di tipo Calfill che filler di tipo Omya.

Per prima cosa è stata corretta la granulometria di progetto in modo che la miscela risultasse più ricca di filler rispetto agli impasti realizzati per la caratterizzazione fotometrica. Questa scelta è stata presa al fine di garantire una maggiore rigidità e stabilità al conglomerato bituminoso, in quanto le miscele prodotte con legante trasparente risultano molto deformabili alle temperature medie di esercizio per rapporti filler/legante inferiori a 1.5.

Nella tabella 7 e nella figura 12 è riportata la curva granulometria utilizzata nel progetto della miscela.

d [mm]	vagli	Granulometrie singole frazioni				Curva miscela
		Porfido 6/12 G _c 90/20	Porfido 4/8 G _c 85/35	Sabbia calcarea 0/4 G _r 85	Filler	
16	setaccio	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	setaccio	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9.5	setaccio	76.4	99.6	100.0	100.0	92.8
8	setaccio	50.2	96.8	100.0	100.0	84.6
6.3	setaccio	15.3	74.8	100.0	100.0	70.6
4.75	setaccio	3.5	40.9	100.0	100.0	61.6
4	setaccio	1.0	21.8	98.6	100.0	57.2
2	setaccio	0.1	1.1	64.6	100.0	39.3
1	setaccio	0.1	0.3	38.1	100.0	28.0
0.5	setaccio	0.1	0.3	23.3	100.0	21.9
0.25	setaccio	0.1	0.3	15.2	98.6	18.3
0.125	setaccio	0.1	0.3	11.2	90.2	15.6
0.063	setaccio	0.1	0.2	9.3	77.6	13.3
% di impiego in peso		30%	16%	42%	12%	

Tabella 7: Progetto della miscela di aggregati per il mix design SHRP

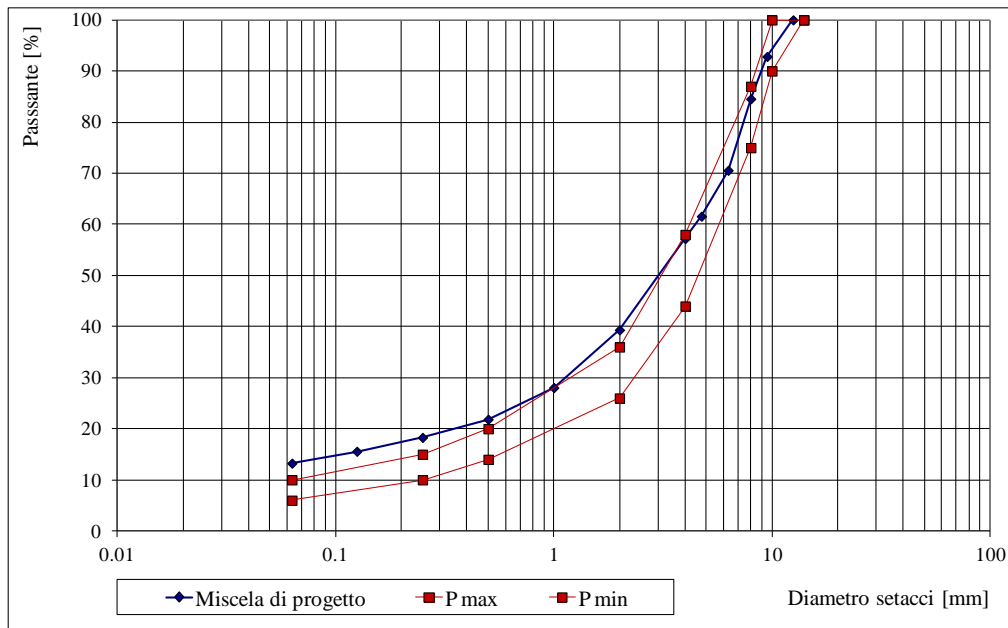


Figura 12: Curva granulometrica di progetto per il mix design SHRP

Il progetto SHRP (Strategic Highway Research Programm) della miscela si articola in 5 fasi:

- definizione del numero di giri iniziale N_{init} , di progetto N_{des} e finale N_{max} della pressa a taglio giratoria per la compattazione dei provini;
- determinazione della percentuale di bitume di primo tentativo $P_{b(i)}$;
- compattazione mediante pressa giratoria di un provino con un contenuto di bitume pari a $P_{b(i)}$ e determinazione della percentuale di vuoti della miscela per $N = N_{des}$; quindi, con una formula empirica, si corregge la percentuale di bitume in P_b ;
- compattazione di quattro gruppi di provini con percentuali di bitume rispettivamente pari a $P_b - 0.5\%$, P_b , $P_b + 0.5\%$ e $P_b + 1.0\%$ e determinazione di percentuale di vuoti V_a , percentuale di vuoti nella miscela di aggregati VMA e percentuale di vuoti riempita di bitume VFA;
- determinazione della percentuale di bitume che per $N = N_{des}$ fa riferimento a un contenuto di vuoti V_a pari al 4%, ad una percentuale di vuoti nella miscela di aggregati VMA $> 13\%$ e ad una percentuale di vuoti riempita di bitume VFB compresa tra il 60% e l'80%.

Per entrambe le procedure di mix design, della miscela con Calfill e della miscela con Omya, sulla base delle indicazioni fornite dal Capitolato Speciale d'Appalto della Provincia Autonoma di Bolzano, sono stati assunti un $N_{init} = 10$, un $N_{des} = 100$ ed un $N_{max} = 180$.

Per il mix design del conglomerato con filler Calfill è stata ipotizzata una $P_{b(i)}$ pari al 6% sul peso della miscela. Questa percentuale di legante di primo tentativo non è stata determinata

mediante le formule empiriche proposte dalla SHRP, che fanno riferimento ai tradizionali conglomerati bituminosi “neri” e mal si adattano ai conglomerati con leganti trasparenti.

Il provino realizzato con un contenuto di legante $P_{b(i)}$ ha mostrato un contenuto di vuoti a N_{des} pari a 4.76%, che ha portato alla determinazione di una $P_b = 6.31\%$ sul peso della miscela. Per lo studio volumetrico della miscela con filler Calfill sono stati dunque definite le 4 percentuali di legante come mostrato in tabella 8.

Per la miscela con filler Omya non è stato ripetuto l’intero procedimento ma, sulla base delle indicazioni fornite dallo studio sulla miscela con filler Calfill, sono state direttamente definite le 4 percentuali di legante per lo studio volumetrico come indicato in tabella 8.

Miscela con filler Calfill	Miscela con filler Omya
$P_{b(A)} = 5.81\%$ sul peso della miscela	$P_{b(A)} = 5.00\%$ sul peso della miscela
$P_{b(B)} = 6.31\%$ sul peso della miscela	$P_{b(B)} = 5.50\%$ sul peso della miscela
$P_{b(C)} = 6.81\%$ sul peso della miscela	$P_{b(C)} = 6.00\%$ sul peso della miscela
$P_{b(D)} = 7.31\%$ sul peso della miscela	$P_{b(D)} = 6.50\%$ sul peso della miscela

Tabella 8: Percentuali di bitume per lo studio volumetrico

I risultati del mix design condotto sulle miscele con filler Calfill e con filler Omya sono mostrati rispettivamente in tabella 9, figure 13-15 e in tabella 10, figure 16-18.

Parametri	$P_{b(A)} = 5.81\%$	$P_{b(B)} = 6.31\%$	$P_{b(C)} = 6.81\%$	$P_{b(D)} = 7.31\%$
V_a	5.6	4.3	4.0	3.2
VMA	16.7	16.6	17.4	17.8
VFA	66.5	74.4	77.1	82.2
% bitume	5.81	6.31	6.81	7.31
G_{mm}	2.47	2.45	2.43	2.41
$G_{mb (des)}$	2.33	2.34	2.33	2.34
C_{in}	84.20	85.92	86.25	88.89
C_{des}	94.40	95.75	96.01	96.84
C_{max}	96.34	97.21	97.42	97.49

Tabella 9: Risultati del mix design SHRP sulla miscela con Calfill

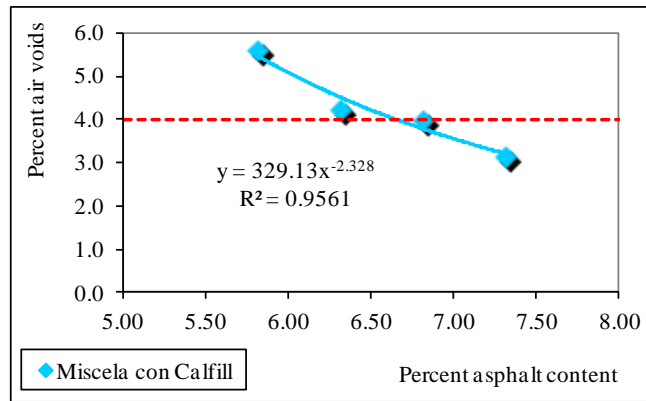


Figura 13: Percentuale di vuoti nel conglomerato bituminoso in funzione del contenuto di legante (miscela con filler Calfill)

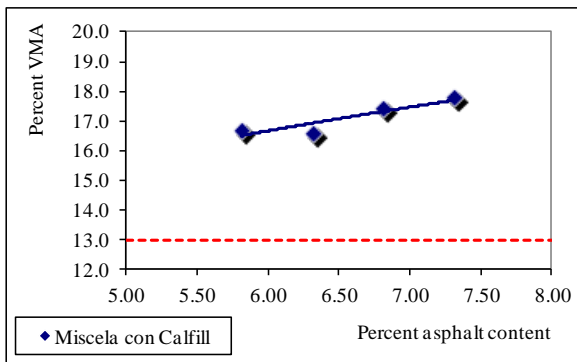


Figura 14: Percentuale di vuoti nella miscela di aggregati in funzione del contenuto di legante per la miscela con Calfill

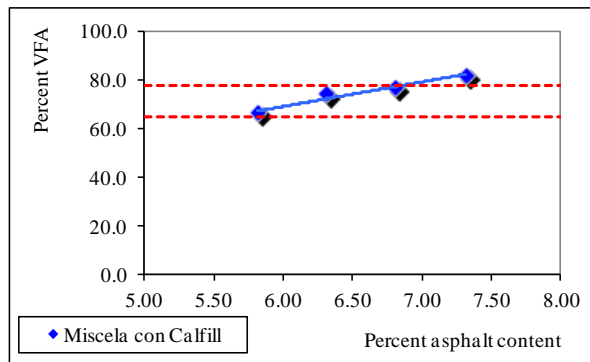


Figura 15: Percentuale di vuoti riempiti di bitume in funzione del contenuto di legante per la miscela con Calfill

Parametri	$P_{b(A)} = 5.00 \%$	$P_{b(B)} = 5.50 \%$	$P_{b(C)} = 6.00 \%$	$P_{b(D)} = 6.50 \%$
V_a	5.6	4.7	3.7	3.4
VMA	14.9	15.3	15.4	16.2
VFA	62.6	69.1	76.3	79.3
% bitume	5.00	5.50	6.00	6.50
G_{mm}	2.50	2.48	2.46	2.44
$G_{mb (des)}$	2.36	2.36	2.37	2.36
C_{in}	84.44	85.17	86.09	86.37
C_{des}	94.40	95.28	96.34	96.63
C_{max}	95.80	96.70	97.78	98.07

Tabella 10: Risultati del mix design SHRP sulla miscela con Omya

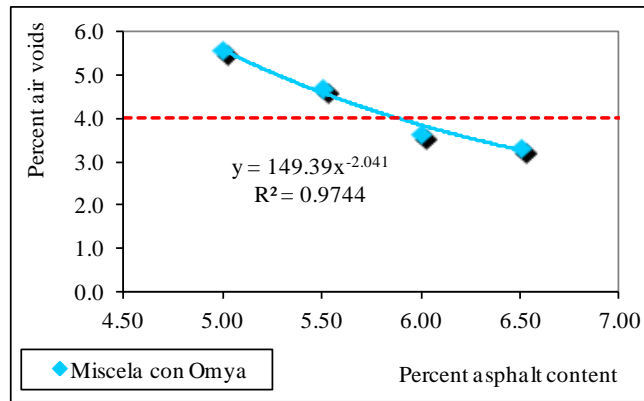


Figura 16: Percentuale di vuoti nel conglomerato bituminoso in funzione del contenuto di legante (miscela con filler Omya)

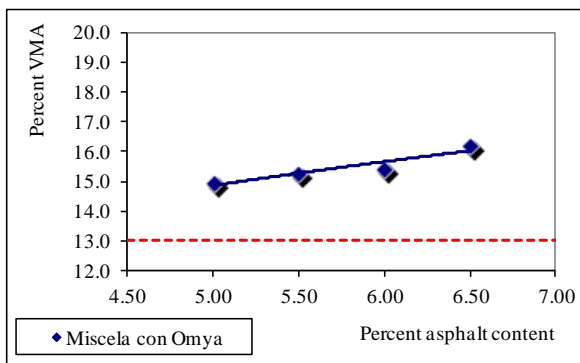


Figura 17: Percentuale di vuoti nella miscela di aggregati in funzione del contenuto di legante per la miscela con Omya

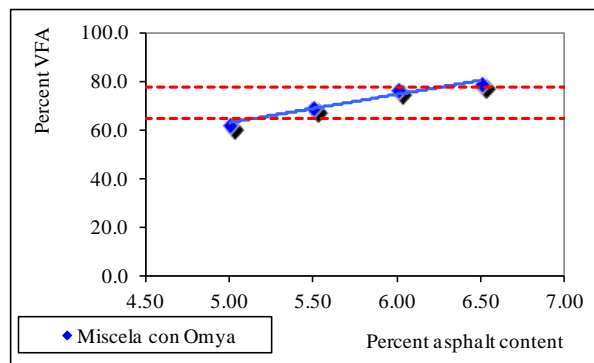


Figura 18: Percentuale di vuoti riempiti di bitume in funzione del contenuto di legante per la miscela con Omya

Dai risultati ottenuti si può osservare che la miscela con Calfill richiede circa il 6.65% di legante sul peso della miscela per avere un contenuto di vuoti pari al 4% a N_{des} (figura 13), mentre la miscela con Omya richiede circa il 5.80% di legante sul peso della miscela a parità di addensamento (figura 16). Si può quindi affermare che l'impiego di filler Omya consente di ottenere miscele con un contenuto di vuoti pari al 4% a N_{des} utilizzando un quantitativo minore di legante.

In conclusione sulla base delle prove eseguite in laboratorio si propone la miscela costituita da aggregati grossi di **porfido grigio, sabbia calcarea e filler di tipo Omya**. Il dosaggio del legante trasparente (tipo **Kromatis**) viene assunto del **6.00% sul peso degli aggregati** (5.66% sul peso della miscela). Tale percentuale di legante risulta leggermente inferiore a quella relativa a un contenuto di vuoti pari al 4% a N_{des} , ma viene considerata ugualmente adeguata in quanto la miscela dovrebbe abbondantemente soddisfare i requisiti meccanici in termini di modulo di rigidezza e di resistenza a rottura in configurazione di trazione indiretta. Il

dosaggio del **pigmento (TiO₂)** di colore bianco viene assunto dello **0,5% sul peso degli aggregati**.

Nella successiva tabella 11 sono riassunti i dosaggi di tutti i componenti della miscela proposta.

d [mm]	vagli	Granulometrie singole frazioni				Curva miscela
		Porfido 6/12 G _c 90/20	Porfido 4/8 G _c 85/35	Sabbia calc. * 0/4 G _f 85	Filler Omya	
16	setaccio	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	setaccio	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9.5	setaccio	76.4	99.6	100.0	100.0	92.8
8	setaccio	50.2	96.8	100.0	100.0	84.6
6.3	setaccio	15.3	74.8	100.0	100.0	70.6
4.75	setaccio	3.5	40.9	100.0	100.0	61.6
4	setaccio	1.0	21.8	98.6	100.0	57.2
2	setaccio	0.1	1.1	64.6	100.0	39.0
1	setaccio	0.1	0.3	38.1	100.0	27.4
0.5	setaccio	0.1	0.3	23.3	100.0	21.1
0.25	setaccio	0.1	0.3	15.2	98.6	17.5
0.125	setaccio	0.1	0.3	11.2	90.2	14.8
0.063	setaccio	0.1	0.2	9.3	77.6	12.7
% di impiego in peso		30%	16%	43%	10.5% + 0.5% TiO₂	
% di legante		6% sul peso degli aggregati				

Tabella 11: Riepilogo dei componenti della miscela di progetto

Le ulteriori indagini, in corso di esecuzione, sono finalizzate alla determinazione delle proprietà fisico-meccaniche della miscela adottata e alla valutazione della luminanza dopo l'usura prodotta in laboratorio (sabbatura), per simulare l'azione del traffico veicolare.

Ancona 31/05/2012

Prof. Ing. Maurizio BOCCI

Bibliografia

- 1) European Asphalt Pavement Association, “*Asphalt Pavements in tunnels*”, Position paper, 2008.
- 2) St-Jacques M., Brosseau Y., “Coloured Bituminous Wearing Courses in France, *Overview of Uses*”, *10th International Conference on Asphalt Pavements*, vol. 3, pp. 233-242, Quebec, 2006.
- 3) Navarro F. J., Partal P., Martinez-Boza F., Gallegos C., “Effect of Composition and Processing on the Linear Viscoelasticity of Synthetic Binders”, *European Polymer Journal*, No. 41, pp. 1429-1438, 2005.
- 4) Merusi F., Giuliani F., “Chromatic and Rheological Characteristics of Clear Road Binders” *Transportation Research Record*, n. 2293, vol. 1, 2012.
- 5) Synnefa A., Karlessi T., Gaitani N., Santamouris M., Assimakopoulos D. N., Papakatsikas C., “Experimental Testing of Cool Colored Thin Layer Asphalt and Estimation of its Potential to Improve the Urban Microclimate”, *Building and Environment*, No. 46, pp. 38-44, 2011.
- 6) Menegatti E., “Tecnologie a Basso Impatto Ambientale”, *Strade & Autostrade*, vol. 6, pp. 2-3, 2011.
- 7) Lin D. F., Luo H.L., “Fading and Color Changes in Colored Asphalt Quantified by the Image Analysis Method”, *Construction and Building Materials*, No. 18, pp. 255-261, 2004.
- 8) Ding Q., Sun Z., Shen F., Huang S., “The Performance Analysis of Semi-Flexible Pavement by the Volume Parameter of Matrix Asphalt Mixture”, *Advanced Materials Research*, vols. 168-170, pp. 351-356, 2011.
- 9) Hassan K. E., Setyawan A., Zoorob S. E., “Effect of Cementitious Grouts on the Properties of Semi-Flexible Bituminous Pavements”, *Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements*, Zoorob, Collop and Brown (eds), pp. 113-120, 2002.
- 10) Al-Qadi I. L., Weyers R. E., “Asphalt Portland Cement Concrete Composite: Laboratory Evaluation”, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 120, No. 1, 1994.