



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

**Stato di avanzamento
delle attività di laboratorio
e di cantiere
al 31.12.2012**

Ancona 31/12/2012

Prof. Ing. Maurizio BOCCI

Sommario

Introduzione	3
La stesa del conglomerato con legante trasparente	4
Produzione della miscela.....	4
Posa in opera del conglomerato chiaro	6
Controlli	8
Prove sulla miscela sfusa.....	8
Prove sulle carote	9
Controllo dell'aderenza	10
Misure fotometriche	11
Prove di laboratorio	11
Prove in sito.....	12
Confronto con la miscela di progetto	17
Ulteriori attività svolte nel secondo semestre 2012	18

Introduzione

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

Le soluzioni progettuali prese in esame sono due: tappeto di usura chiuso caratterizzato da aggregati chiari e legante trasparente, tappeto di usura drenante, ad elevata porosità, successivamente intasato con una malta cementizia fluida di colore bianco.

La prima fase di sperimentazione, rendicontata con il primo rapporto in data 31 maggio 2012, ha visto coinvolti il Laboratorio Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano e il Laboratorio di Strade dell'Università Politecnica delle Marche (Ancona) nella messa a punto della miscela ottimale per la confezione del conglomerato chiuso con legante trasparente. Nel mese di luglio 2012 tale conglomerato è stato posto in opera in due gallerie della rete stradale della Provincia di Bolzano: la galleria di Tesimo e la galleria di Moso in Passiria. Sui materiali impiegati e sulle pavimentazioni realizzate è stata condotta una campagna di prove di controllo e di monitoraggio di cui si riferisce in questo secondo rapporto.

Contemporaneamente sono proseguiti gli studi per la messa a punto del secondo tipo di tappeto di usura chiaro. In tal senso sono stati individuati nell'ambito del territorio della Provincia Autonoma di Bolzano due tipologie di aggregati chiari (graniti) che potrebbero essere resi disponibili per la realizzazione del tappeto drenante intasato con malta cementizia prevista per la tarda primavera del 2013.

La stesa del conglomerato con legante trasparente

La Provincia Autonoma di Bolzano per la prima applicazione della pavimentazione chiara con legante trasparente ha scelto due gallerie: la prima lunga circa 200 metri è la galleria di Tesimo (frazione di Narano, al km 26+690 della SS 238 delle Palade), la seconda è la galleria n. 6 di Moso in Passaria (km 13+000 della SS 44bis del Passo Rombo).

Poiché entrambe le gallerie sono piuttosto strette (larghezza della zona pavimentata circa m 5,50) la stesa in due passate (una per corsia) non avrebbe consentito di scaricare la miscela nella finitrice per l'impossibilità di alzare il cassone ribaltabile. Inoltre la larghezza ridotta della parte di pavimentazione non interessata dalla stesa avrebbe comunque creato difficoltà alla circolazione e rischi elevati per gli operai addetti ai lavori. Per questo si è deciso di chiudere entrambe le strade e di operare nelle ore notturne (dalle ore 22.00 alle ore 6.00) al fine di limitare i disagi ad un numero ridotto di utenti (molto pochi nelle ore notturne).

La stesa è stata eseguita nella notte tra il 4 ed il 5 del mese di luglio 2012.

Produzione della miscela

Per la produzione del conglomerato è stato individuato l'impianto della ditta Bitumisarco sito in località Prato Isarco, lungo la SS12, a Nord di Bolzano. Si tratta di un vecchio impianto Marini (foto n. 1), di tipo discontinuo, che consente di impastare ad ogni ciclo 1200 kg compreso il legante, con una produzione oraria di 120 t.

Nel pomeriggio del giorno 4 luglio 2012, alla presenza dei tecnici del laboratorio Prove Materiali della Provincia Automa di Bolzano, si è proceduto alla messa a punto della procedura per la produzione dell'impasto. Sono state eseguite verifiche sulla temperatura degli aggregati, durante l'immissione nella camera di miscelazione, e della miscela al momento dello scarico sul cassone del camion.

La temperatura ha rappresentato una delle maggiori criticità. La stesa notturna e la notevole distanza tra l'impianto e le due gallerie, in particolare quella di Moso in Passaria, avrebbero richiesto riscaldamenti elevati, mentre il legante impiegato (Kromatis della TOTAL) non dovrebbe raggiungere temperature troppo elevate (oltre i 175 °C), per evitare il rischio di alterazione del colore (imbrunimento). Si è pertanto stabilito di adottare una temperatura di miscelazione di circa 180 °C.



Foto 1 – Impianto Bitumisarco a nord di Bolzano

Il biossido di titanio, da aggiungere alla miscela di aggregati per aumentare la colorazione chiara, è stato inserito manualmente nel miscelatore (2 sacchetti da 6 kg) nella quantità corrispondente allo 0,5% della miscela di aggregati.

L'alimentazione del legante è avvenuta direttamente dall'autobotte, arrivata qualche ora prima da Le Havre, nel nord della Francia.

Nello stesso pomeriggio si è proceduto alla stesa, nel piazzale dell'impianto (foto n. 2), della prima miscela prodotta. Dopo la compattazione il conglomerato è stato raffreddato con getti e successivamente sono state prelevate delle carote per la verifica del grado di addensamento.

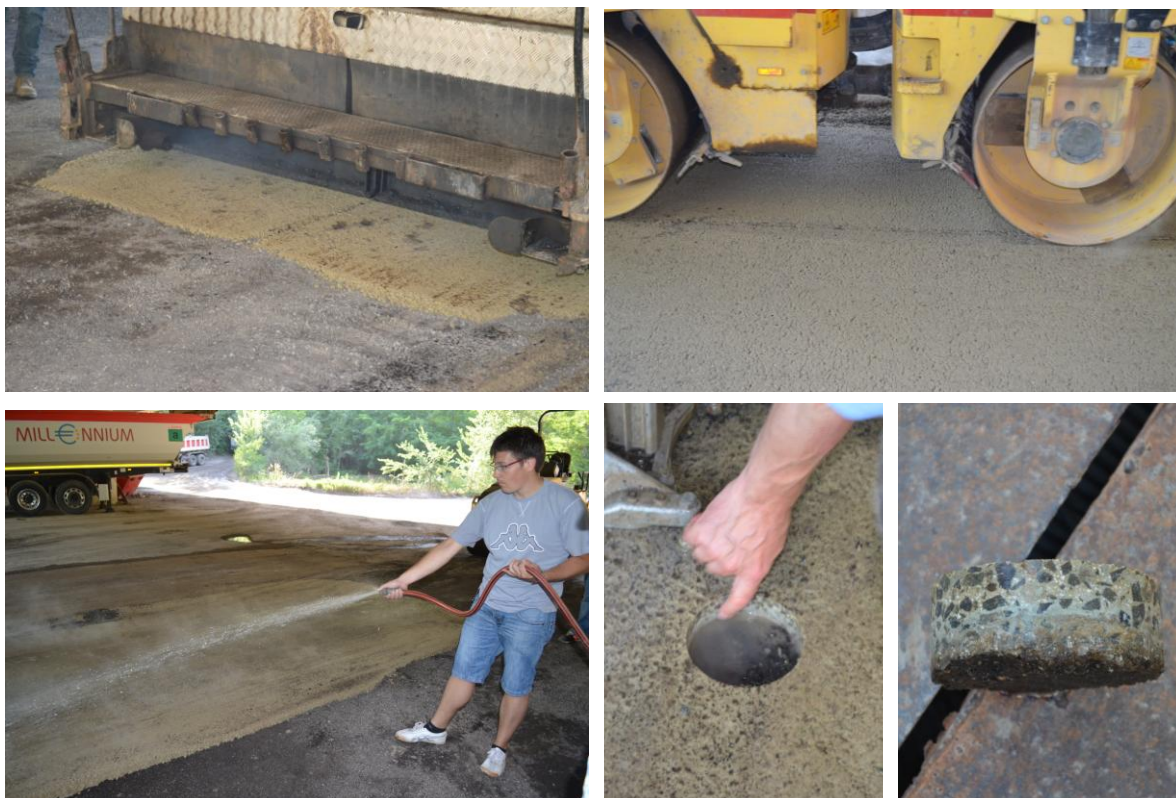


Foto 2 – Stesa di prova nel piazzale dell’Impianto Bitumisarco

Posa in opera del conglomerato chiaro

Valutate positivamente le varie procedure operative adottate, nella successiva nottata si è proceduto alla stesa in entrambe le gallerie, con passata unica a tutta larghezza (foto n. 3).

Nella galleria di Narano è stato possibile scaricare direttamente, ed in modo continuo (finitrice a spinta sul camion), il conglomerato nella finitrice (foto n. 4). La stessa cosa non è stata possibile sulla galleria del passo Rombo, dove il camion con il conglomerato, pur avanzando al centro della strada, non riusciva ad alzare completamente il ribaltabile. Si è stati pertanto costretti a scaricare la miscela calda fuori dalla galleria e trasferirla nella tramoggia della finitrice con una pala gommata (foto n. 5A e n. 5B). Tale travaso ha certamente comportato un ulteriore raffreddamento dell’impasto già soggetto ad un tempo di trasporto di oltre due ore.

La compattazione è stata eseguita in entrambi i casi con rullo tandem vibrante del peso di circa 14 t.



Foto 3 – Stesa a tutta larghezza – Galleria di Tesimo



Foto 4 – Scarico della miscela nella tramoggia della finitrice – galleria di Tesimo



Foto 5 – Stesa e compattazione nella galleria n. 6 di Moso in Passaria

Controlli

Al momento della stesa sono stati prelevati campioni di miscela sfusa e, nei giorni successivi, carote in entrambe le gallerie al fine di eseguire prove presso il Laboratorio Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano e presso il Laboratorio di Strade e Trasporti dell'Università Politecnica delle Marche.

Le due pavimentazioni sono state inoltre sottoposte alla misura della luminanza ed al monitoraggio dell'aderenza mediante prove di Skid Tester.

Prove sulla miscela sfusa

Sui campioni di conglomerato prelevati al momento della stesa sono state eseguite le prove di massa volumica, percentuale di vuoti su provino compattato con pressa giratoria, estrazione del legante, analisi granulometrica sugli aggregati estratti.

I risultati sono riepilogati nella tabella 1.

Granulometria				
Apert. setaccio [mm]	Trattenuto [g]	Tratt. parziale [%]	Tratt. cumulativo [%]	Passante [%]
16	0	0.0	0.0	100.0
12	3.8	0.4	0.4	99.6
9.51	133.5	14.2	14.6	85.4
8	112.1	11.9	26.4	73.6
6.3	109	11.6	38.0	62.0
4	97.6	10.3	48.4	51.6
2	39.5	4.2	52.5	47.5
1	139.9	14.8	67.4	32.6
0.5	92.6	9.8	77.2	22.8
0.25	55.7	5.9	83.1	16.9
0.125	39.8	4.2	87.3	12.7
0.063	38.7	4.1	91.4	8.6
fondo	80.8	8.6	100.0	0.0
% bitume sul peso degli aggregati				6.04
% bitume sul peso della miscela				5.70
Massa volumica [kN/m ³]				24.3
% v su provino compattato con pressa giratoria @ 100gg				1.71

Tab. 1 – Risultati delle prove eseguite sulla miscela sfusa

Sulla stessa miscela sfusa prelevata in cantiere sono state determinate le proprietà meccaniche: resistenza a trazione indiretta e modulo elastico per trazione indiretta a 20 °C e a 40 °C. I risultati, riportati nella tabella 2, sono posti a confronto con quelli ottenuti sulla miscela confezionata in laboratorio con gli stessi materiali e le quantità previste dal mix design.

Riferimento	Modulo a trazione indiretta		Resistenza a trazione indiretta
	ITSM @ 20°C [MPa]	ITSM @ 40°C [MPa]	ITS @ 25°C [MPa]
Provini realizzati con conglomerato confezionato in laboratorio	4302	260	2.16
Provini realizzati con conglomerato prelevato al momento della stesa	3364	286	1.71

Tab. 2 – Risultati delle prove di caratterizzazione meccanica

Prove sulle carote

Qualche giorno dopo la stesa sono state prelevate delle carote in entrambe le gallerie per determinare il livello di addensamento in termini di massa volumica e vuoti residui.

I risultati ottenuti in laboratorio sono riassunti nella successiva tabella 3.

Galleria di Tesimo				Galleria di Moso in Passiria			
Direzione Merano		Direzione Palade		Direzione Moso		Dir. Passo Rombo	
$G_{mb} \text{ (des)}$ kN/m^3	Vuoti %	$G_{mb} \text{ (des)}$ kN/m^3	Vuoti %	$G_{mb} \text{ (des)}$ kN/m^3	Vuoti %	$G_{mb} \text{ (des)}$ kN/m^3	Vuoti %
24,2	3,9	23,3	6,5	23,2	6,9	24,2	3,4
24,2	3,7	22,9	8,2	23,0	7,7	24,0	4,1

Tab. 3 – Risultati delle prove sulle carote

I valori dei vuoti residui variano tra 3,7% e 8,2% per la galleria di Tesimo, tra 3,4% e 7,7% per la galleria di Moso in Passiria. Appare pertanto evidente che le difficoltà operative (stesa notturna) abbiano inciso più di quelle logistiche (distanza dall'impianto di produzione). Considerato che la stesa è stata eseguita a tutta larghezza, la differenza di vuoti tra una corsia e l'altra (in entrambe le gallerie) è ragionevolmente da attribuire alla distribuzione non regolare della miscela e/o alla disomogenea compattazione. Irrilevante è stata la distanza dall'impianto. Infatti nella galleria di Moso, molto più lontana di quella di Tesimo, nonostante sia stato necessario trasferire il conglomerato dai camion alla finitrice con la pala gommata, i vuoti sono pressoché uguali a quelli della galleria di Tesimo.

Rispetto ai risultati ottenuti sulla stessa miscela costipata in laboratorio con 100 giri di pressa giratoria i vuoti su strada sono sensibilmente più alti, ma all'interno di un intervallo di accettabilità, a prescindere dalle particolari condizioni in cui si è operato.

Controllo dell'aderenza

Il particolare tipo di legante e la notevole quantità di “mastice” (legante + filler) presente nella miscela hanno indotto qualche preoccupazione in ordine ai valori di aderenza del manto di usura.

Sono state pertanto disposte prove di Skid Tester per l'accertamento dei valori iniziali di aderenza e per il monitoraggio della sua evoluzione nel tempo.

Nella tabella 4 sono riportati i risultati delle varie prove eseguite. Non si rilevano significativi decadimenti dell'aderenza anche se il tempo trascorso è solo di pochi mesi.

data	Galleria di Tesimo				Galleria di Moso in Passiria			
	Direzione Merano		Direzione Palade		Direzione Moso		Dir. Passo Rombo	
	BPN	Δ BPN	BPN	Δ BPN	BPN	Δ BPN	BPN	Δ BPN
09.07.12	65	Rifer.	60	Rifer.	59	Rifer.	57	Rifer.
12.07.12	56	-9	55	-5	59	=	56	-1
19.07.12	54	-11	60	=				
26.07.12	57	-8	56	-4	57	-2	57	=
06.09.12	53	-12	53	-7				
09.10.12	53	-12	55	-5				
28.11.12	55	-10	60	=				

Tab. 4 – Risultati delle prove di skid tester

Misure fotometriche

Per valutare le proprietà fotometriche del conglomerato chiaro impiegato (miscela) e delle pavimentazioni realizzate nelle gallerie di Tesimo e di Moso in Passiria, sono state eseguite prove su una lastra di conglomerato (300 mm x 300 mm) confezionate in laboratorio con la miscela sfusa prelevata il giorno della stesa e prove in sito sulla pavimentazione realizzata.

Prove di laboratorio

Le proprietà fotometriche della lastra realizzata in laboratorio con il conglomerato confezionato in impianto, prelevato al momento della stesa nella galleria di Tesimo sono riportate nella tabella 5.

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	Kromatis	Omya + 0.5% TiO ₂	Porfido grigio	20.03	14.3	106.0	21

Tab. 5 – Risultati delle prove fotometriche sulla lastra realizzata in laboratorio

La stessa lastra è stata successivamente sabbiata per simulare lo stato della pavimentazione dopo lo spogliamento del legante prodotto dal traffico. Nella tabella 6 sono riportati i valori del coefficiente di luminanza prima della sabbiatura (tal quale) e dopo la sabbiatura (sabbiata).

Miscela	Legante	Filler	Aggregato	L – tal quale [cd·m ⁻²]	L – sabbiata [cd·m ⁻²]	Δ L [cd·m ⁻²]	Δ L [%]
Usura chiusa	Kromatis	Omya + 0.5% TiO ₂	Porfido grigio	20.03	24.81	4.78	24

Tab. 6 – Risultati delle prove di luminanza sulla lastra realizzata in laboratorio, prima e dopo la sabbiatura

Prove in sito

Le misure di luminanza sono state effettuate nei siti di stesa di Tesimo e Moso in Passiria il giorno 28 novembre 2012. La luminanza è stata determinata, come media di 16 misurazioni, mediante lo stesso apparecchio, luminanzometro Konica Minolta LS-110, utilizzato per la determinazione della luminanza in laboratorio.

Al fine di poter confrontare le caratteristiche fotometriche delle pavimentazioni in esercizio con quelle realizzate in laboratorio, la sola misurazione della luminanza risulta insufficiente poiché tale grandezza, che esprime la quantità di luce riflessa da una superficie, dipende da un'altra proprietà fotometrica denominata illuminamento, che rappresenta la quantità di luce che investe una superficie. Di conseguenza è stato necessario determinare, mediante un apposito luxmetro, il valore di illuminamento in ogni punto di misura, sia in sito che in laboratorio.

Successivamente il confronto tra le varie pavimentazioni è stato effettuato attraverso un parametro denominato coefficiente di riflessione, che esprime la capacità di un corpo di riflettere le radiazioni luminose e può essere calcolato a partire dai valori di luminanza ed illuminamento mediante la seguente espressione:

$$L = E \cdot \frac{\rho}{\pi}$$


dove:

L = valore di luminanza in cd/m^2 ;







E = valore di illuminamento in Lux;

ρ = coefficiente di riflessione.

Nelle tabelle 7 ed 8 si riportano i valori di luminanza, illuminamento e coefficiente di riflessione determinati rispettivamente per le pavimentazioni delle gallerie di Tesimo e Moso in Passiria. Le misurazioni sono state effettuate in punti casuali della pavimentazione in corrispondenza dell'ingresso, della parte centrale e dell'uscita della galleria. Inoltre sono state effettuate delle misure nei punti critici della superficie stradale in cui sono presenti tracce di pneumatici dei veicoli oppure delle macchie di forma circolare (di diametro variabile tra 10 e 15 cm) che presentano una colorazione più scura.

Posizione	Foto	Illuminamento E [Lux]	Luminanza L [cd/m ²]	Coefficiente di riflessione ρ [-]
1 Ingresso lato Tesimo		573.4	28.74	0.157
2 Interno galleria		66.68	2.730	0.129
3 Interno galleria		66.12	2.459	0.117
4 Ingresso lato Merano		293.4	17.66	0.189
5 Pavimentazione macchiata		477.8	8.485	0.056

Tab. 7 – Risultati delle prove in sito – galleria di Tesimo

Posizione	Foto	Illuminamento E [Lux]	Luminanza L [cd/m ²]	Coefficiente di riflessione ρ [-]
1 Interno galleria		50.4	1.835	0.114
2 Interno galleria		38.9	2.064	0.167
3 Ingresso sud		59.7	2.839	0.149
4 Ingresso nord		43.9	1.640	0.117
5 Interno galleria – pavimentazione bagnata		14.6	0.813	0.175
6 Interno galleria – traccia pneumatico		44	1.635	0.117

Tab. 8 – Risultati delle prove in sito – galleria di Moso in Passiria

Nella tabella 9 e nel grafico di figura 1 vengono messi a confronto i coefficienti di riflessione determinati sulle miscele compattate in laboratorio (prodotte in laboratorio e all'impianto) con i valori medi di ρ ottenuti dalle misurazioni effettuate nelle gallerie di Tesimo e di Moso in Passiria. In particolare vengono evidenziati i risultati di misurazioni locali effettuate nei punti più scuri della pavimentazione (in corrispondenza di macchie o di tracce lasciate da pneumatici).

Valori del coefficiente di riflessione ρ [-]						
Miscela confezionata e compattata in laboratorio	Miscela prelevata in sito durante la stesa e compattata in laboratorio	Galleria di Tesimo - valore medio	Galleria di Moso in Passiria - valore medio	Conglomerato bituminoso "nero" tradizionale	Galleria di Tesimo - Punto 5 - Pavimentaz. "macchiata"	Galleria di Moso in Passiria - Punto 6 - Traccia di pneumatico
0.339	0.333	0.148	0.145	0.052	0.056	0.117

Tab. 9 – Confronto tra i valori del coefficiente di riflessione ρ

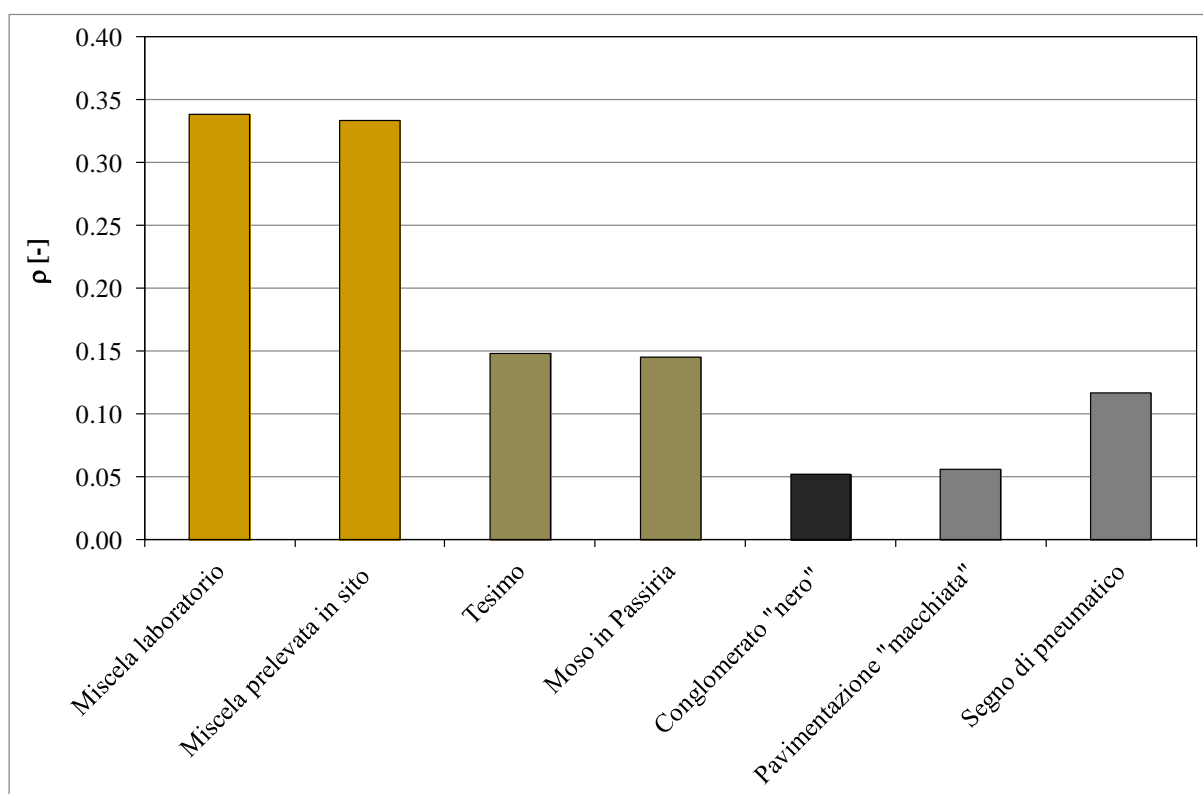


Fig. 1 – Confronto tra i valori del coefficiente di riflessione ρ

Osservando i risultati ottenuti è possibile affermare che, dopo 5 mesi di esercizio, le pavimentazioni chiare delle gallerie di Tesimo e di Moso in Passiria hanno restituito un valore del coefficiente di riflessione all'incirca dimezzato rispetto alla pavimentazione appena realizzata (miscela prelevata al momento della stesa e compattata in laboratorio). Tale

risultato è legato al naturale processo di imbrunimento del legante che determina una colorazione della pavimentazione su tonalità di giallo più scure (Foto n.6).

Tuttavia il coefficiente di riflessione risulta ancora triplo rispetto ad un tradizionale conglomerato bituminoso con legante “nero”. Inoltre la luminanza della pavimentazione dovrebbe tendere ad aumentare nel tempo a seguito del processo di spogliamento del legante prodotto dal traffico.

Infine si sottolinea che nei punti “macchiati” della superficie della pavimentazione il coefficiente di riflessione risulta inferiore, ma tali zone più scure hanno un'estensione limitata e quindi globalmente non pregiudicano l'aspetto complessivo della pavimentazione e le proprietà fotometriche.



Foto 6 – Foto delle gallerie di Tesimo e Moso in Passiria

Confronto con la miscela di progetto

Nella tabella 10 vengono messe a confronto le proprietà della miscela studiata in laboratorio (mix design riportato nel primo rapporto) con quelle della miscela effettivamente realizzata in impianto e prelevata, durante la stesa, nella galleria di Tesimo.

Proprietà	Miscela realizzata in laboratorio	Miscela realizzata in impianto e prelevata in sito durante la stesa
Granulometria	vedi grafico (fig. 2)	
% bitume sul peso degli aggregati (post estrazione)	6.0	6.0
% bitume sul peso della miscela (post estrazione)	5.7	5.7
Massa volumica [kN/m ³]	24.0	24.3
% v su provino compattato con pressa giratoria @ 100gg	3.08	1.71
L – tal quale [cd·m ⁻²]	20.36	20.03
L – sabbiato [cd·m ⁻²]	29.36	24.81
R _L [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	15.6	14.3
Q _d [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	79.8	106.0
β [-]	25	21
ITSM @ 20°C [MPa]	4302	3364
ITSM @ 40°C [MPa]	260	286
ITS @ 25°C [MPa]	2.16	1.71

Tab. 10 – Confronto tra la miscela di progetto e quella effettivamente realizzata

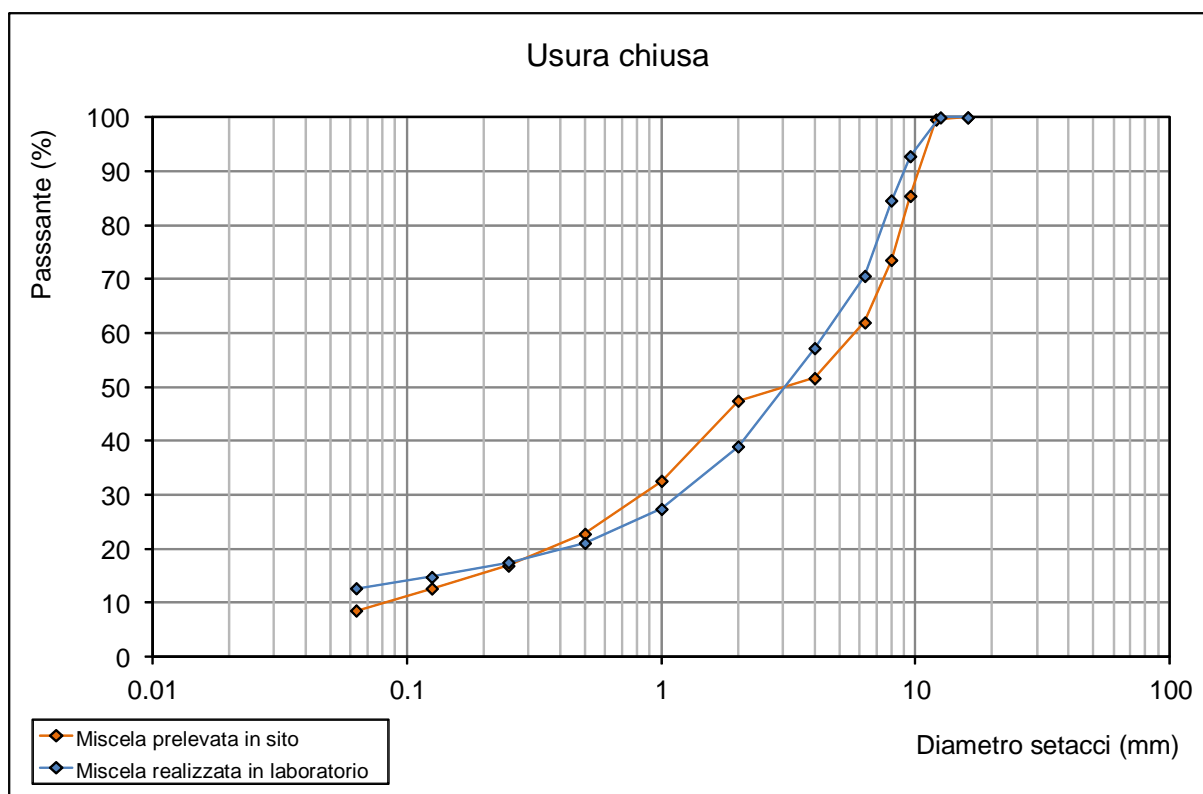


Fig. 2 – Confronto delle curve granulometriche

Il conglomerato confezionato in impianto, pur essendo maggiormente ricco di sabbia e con una minore quantità di filler rispetto alla miscela di progetto (passante al setaccio da 0,063 mm di 8,8% contro il 13,3% della miscela di progetto), ha caratteristiche volumetriche e fotometriche molto simili. Solo il modulo elastico e la resistenza a trazione indiretta sono sensibilmente più bassi.

Ulteriori attività svolte nel secondo semestre 2012

Nell'ambito delle attività finalizzate alla messa a punto del secondo tipo di tappeto di usura chiaro (conglomerato drenante intasato con malta cementizia) sono stati cercati ulteriori tipi di aggregati di colore chiaro, reperibili in Alto Adige ma non ancora disponibili presso le cave o gli impianti che si occupano della lavorazione di rocce lapidee. Sono risultati di particolare interesse il granito proveniente dal tunnel di base del Brennero (località Mules) e il granito della Val Martello. E' stata invece considerata non utilizzabile la quarzite argentea della Val di Vizze che è risultata avere una resistenza alla frammentazione (Los Angeles) di 34% ed un valore di levigabilità (CLA) di 38%.

Nella tabella 11 sono riportate le caratteristiche fotometriche e di levigabilità dei nuovi aggregati confrontati con quelli precedentemente analizzati.

Caratteristiche	Unità di misura	Porfido grigio	Basalto	Diorite	Granito Brennero	Granito Val Martello
Luminanza sul materiale asciutto	cd/m ²	13.2	14.5	14.4	22.4	23.1
Luminanza sul materiale bagnato	cd/m ²	4.7	3.5	4.5	11.7	12.4
Resistenza alla frammentazione (Los Angeles)	%	17	13	14	30	34
Valore di levigabilità (CLA)	%	50	51	46	52	49

Tab. 11 – Caratteristiche di alcuni aggregati chiari reperiti in Alto Adige

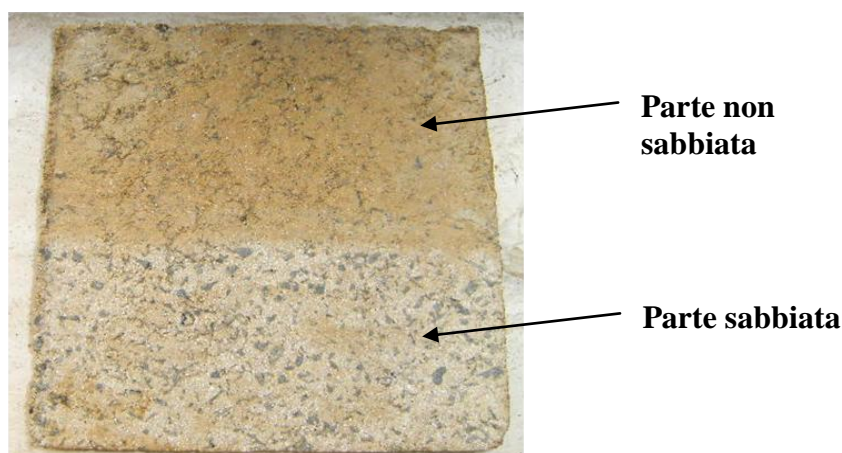


Foto 7 – Lastra prodotta in laboratorio, parzialmente sabbiata

Sono state inoltre condotte ulteriori prove sulle lastre già confezionate in laboratorio, nel primo semestre 2012, per la scelta dei materiali (aggregati lapidei e leganti) da utilizzare nella produzione del conglomerato chiaro.

Le lastre sono state sabbiate per circa la metà della superficie (foto n. 7) al fine di simulare lo stato della pavimentazione dopo lo spogliamento del legante prodotto dal traffico. Nella tabella 12 sono riportati i valori del coefficiente di luminanza prima della sabbiatura (tal quale) e dopo la sabbiatura (sabbiata) e gli incremento (o decremento) di luminanza in $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ed in percentuale.

Miscela	Legante	Filler	Aggregato	L – tal quale [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]	L – sabbiata [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]	ΔL [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]	ΔL [%]
Usura chiusa	Bitume tradizionale	di recupero	Porfido grigio	3.11	-	-	-
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Porfido grigio	9.84	18.63	8.79	89
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Basalto	11.59	20.91	9.32	80
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Diorite	9.36	17.44	8.08	86
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Granito Brennero	11.21	23.47	12.26	109
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Porfido grigio	9.36	16.55	7.19	77
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Basalto	9.48	15.13	5.65	60
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Diorite	8.91	17.98	9.07	102
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Granito Brennero	11.98	20.81	8.83	74
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Porfido grigio	7.30	13.47	6.17	85
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Basalto	8.44	14.97	6.53	77
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Diorite	7.80	11.02	3.22	41
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Granito	9.57	14.50	4.93	52
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Porfido grigio	7.55	15.74	8.19	108
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Basalto	7.23	12.77	5.54	77
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Diorite	7.60	14.41	6.81	90
Usura SMA	Kromatis	Calfill	Granito Brennero	8.68	18.17	9.49	109

Tab. 12 A – Valori di luminanza prima e dopo la sabbiatura

Miscela	Legante	Filler	Aggregato	L – tal quale [cd·m ⁻²]	L – sabbiata [cd·m ⁻²]	Δ L [cd·m ⁻²]	Δ L [%]
Usura chiusa	Kromatis	Omya	Porfido grigio	10.57	17.15	6.58	62
Usura chiusa	Kromatis	Omya + 0.08% TiO ₂	Porfido grigio	13.33	21.72	8.39	63
Usura chiusa	Kromatis	Omya + 0.5% TiO ₂	Porfido grigio	20.36	29.36	9	44
Usura chiusa	Kromatis	Omya + 1.0% TiO ₂	Porfido grigio	21.48	28.06	6.58	31
Usura chiusa	Kromatis	Calfill + 0.08% TiO ₂	Porfido grigio	11.16	20.13	8.97	80
Usura chiusa	Biokromatis	di recupero	Porfido grigio	13.25	23.07	9.82	74
Usura chiusa	Biokromatis	Calfill	Porfido grigio	11.64	23.33	11.69	100
Usura SMA	Biokromatis	Calfill	Porfido grigio	8.48	20.09	11.61	137
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Porfido grigio	40.95	27.06	-13.89	-34
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Basalto	39.79	33.81	-5.98	-15
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Diorite	41.76	32.21	-9.55	-23
Drenante intasato	Bitume tradizionale	di recupero	Granito Brennero	43.13	34.04	-9.09	-21

Tab. 12 B – Valori di luminanza prima e dopo la sabbiatura

Nella tabella 13 sono riportati i risultati delle prove di skid tester, espressi in valori BPN (British Pendulum Number) determinati sulle lastre prima (tal quale) e dopo la sabbiatura (sabbiata)

Miscela	Legante	Filler	Aggregato	BPN tal quale	BPN sabbiata	Δ BPN	Δ BPN [%]
Usura chiusa	Bitume tradizionale	di recupero	Porfido grigio	65	-	-	-
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Porfido grigio	63	77	14	22
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Basalto	66	81	15	23
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Diorite	67	75	8	12
Usura chiusa	Kromatis	di recupero	Granito	64	74	10	16
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Porfido grigio	60	74	14	23
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Basalto	65	76	11	17
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Diorite	60	78	18	30
Usura chiusa	Kromatis	Calfill	Granito	65	77	12	18
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Porfido grigio	71	75	4	6
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Basalto	80	77	-3	-4
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Diorite	69	80	11	16
Usura SMA	Kromatis	di recupero	Granito Brennero	66	79	13	20

Tab. 13 – Valori BPN (skid resistance) prima e dopo la sabbiatura

Ancona 31/12/2012

Prof. Ing. Maurizio BOCCI