



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Civile & Ambientale

IL TAPPETO DI USURA CON POLVERINO DI
GOMMA REALIZZATO NEL TRATTO
MERANO-BOLZANO DELLA SS38

THE WEAR MAT WITH RUBBER POWDER MADE
IN THE MERANO-BOLZANO SECTION OF THE SS38

Relatore:

Prof. Ing. Maurizio Bocci

Tesi di Laurea di:

Giovanni Marchegiani

Correlatore:

Ing. Emiliano Prospero

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	RISANAMENTO DELLA SS 38 MERANO-BOLZANO.....	3
2.1	LE PROVE ESEGUITE.....	4
2.1.1	sondaggi per la caratterizzazione del sottofondo	4
2.1.2	Valutazione delle condizioni di portanza della pavimentazione	6
2.1.3	Determinazione degli spessori degli strati della pavimentazione.....	7
2.1.4	Rilievo delle caratteristiche funzionali della pavimentazione.....	7
2.1.5	Parametro per la valutazione della regolarità (IRI)	8
2.1.6	Determinazione per il livello di ormaiamento	9
2.1.7	Rilievo degli ammaloramenti superficiali (visual distress)	9
2.2	ANALISI DEI RISULTATI	12
2.2.1	Risultati delle prove FWD	12
2.2.2	Valutazione delle caratteristiche strutturali della pavimentazione	14
2.2.3	Regolarità superficiale longitudinale.....	14
2.2.4	Regolarità superficiale trasversale (ormaiamento).....	19
2.2.5	Ammaloramenti superficiali	20
2.2.6	Valutazione delle caratteristiche funzionali della pavimentazione	25
2.3	PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE	26
2.3.1	Tipologia degli interventi.....	26
2.3.1.1	Intervento tipo 1A – Risanamento profondo in zone con risalita capillare	26
2.3.1.2	Intervento tipo 1B – Risanamento profondo in zone senza risalita capillare .	27
2.3.1.3	Intervento di tipo 2 – Risanamento intermedio.....	27
2.3.1.4	Intervento di tipo 3 – Risanamento superficiale.....	28
2.4	INTERVENTO REALIZZATO NELLA PRIMAVERA DEL 2021.....	29
2.4.1	Situazione esistente	29
2.4.2	Intervento eseguito	29
3	CONGLOMERATI BITUMINOSI CON POLVERINO DI GOMMA	33
3.1	LAVORAZIONE DEL POLVERINO DI GOMMA	34
3.2	TECNOLOGIA “WET”	37
3.2.1	Asphalt Rubber (leganti ad alta viscosità)	39
3.2.1.1	Interazione gomma – bitume	40
3.2.1.2	Processo produttivo	41
3.2.1.3	Vantaggi dell’Asphalt Rubber	45
3.2.2	Terminal Blends (leganti a bassa viscosità)	45

3.3	TECNOLOGIA “DRY”	47
3.3.1	Tecnologia “Dry - Italia”	48
4	ESECUZIONE DEI LAVORI E PROVE DI CONTROLLO	51
4.1	MIX DESIGN DELLE MISCELE.....	51
4.2	ESECUZIONE LAVORI	57
4.3	PROVE DI CONTROLLO	63

1 INTRODUZIONE

In questa tesi dal titolo: “ Il tappeto di usura con polverino di gomma realizzato nel tratto Merano – Bolzano della SS 38 ” è stato analizzato il risanamento della strada statale dello Stelvio (SS 38), a due carreggiate separate, nel tratto Merano – Bolzano; in particolare si è preso in considerazione l’intervento eseguito nel 2° Lotto, sulla carreggiata in direzione Merano dal km 211+500 al km 212+950 - corsia di marcia e di sorpasso nei Comuni di Terlano e Nalles.

La tratta Merano – Bolzano presentava uno stato di ammaloramento diffuso prevalentemente costituito da fessurazioni a pelle di coccodrillo, avvallamenti e fessure isolate. Al fine di determinare le cause del rapido degrado della pavimentazione la Provincia Autonoma di Bolzano ha effettuato indagini sul sottofondo mediante sondaggi e pozzetti esplorativi e sullo stato della pavimentazione con il Falling Weight Deflectometer (FWD) e con il Multi Functional Vehicle (MFV). Dalle indagini eseguite è stato riscontrato un basso livello di portanza della pavimentazione, perciò è stato necessario prevedere un intervento di risanamento profondo. Il progetto ha previsto la rimozione degli strati bituminosi, mediante fresatura a freddo, la stabilizzazione dello strato di fondazione con calce e cemento e la realizzazione degli strati di base binder e tappeto di usura in conglomerato bituminoso a caldo. Per la realizzazione del nuovo strato di usura, al fine di ridurre il rumore di rotolamento è stato utilizzato un conglomerato bituminoso con polverino di gomma da pneumatici fuori uso (PFU). Tra le diverse modalità di utilizzo del polverino di gomma è stata adottata una tecnologia innovativa denominata “Dry - Italia”. Questa nuova metodologia unisce tre diverse innovazioni che consentono di ottenere una pavimentazione di grande pregio. Il bitume modificato con polimeri di tipo hard che garantisce elevate prestazioni meccaniche, l’alta lavorabilità (tecnica del warm mix asphalt) che consente di adottare temperature di miscelazione e stesa inferiori eliminando i fumi

particolarmente fastidiosi per il personale addetto alla stesa, e l'aggiunta, in fase di miscelazione, del polverino da PFU "ultrafine" (0,2-0,6 mm) che apporta una sensibile riduzione del rumore.

La presente tesi si articola in 3 parti:

- **“Risanamento della SS 38 Merano – Bolzano”**: vengono descritte le varie prove eseguite sulla pavimentazione propedeutiche per l'individuazione degli interventi di risanamento. Vengono descritti i criteri con cui è stato individuato il programma pluriennale dei lavori. Vengono inoltre illustrate le tecniche operative e i materiali da utilizzare.
- **“Conglomerati bituminosi con polverino di gomma”**: vengono presentati il processo di demolizione degli pneumatici fuoriusso e le modalità di impiego del polverino nelle pavimentazioni stradali con approfondimento della tecnica wet e dry.
- **“Esecuzione dei lavori e prove di controllo”**: sono esposte le varie azioni eseguite per la realizzazione dell'intervento, con numerose foto allegate per rendere più chiara la descrizione, infine sono riportati i risultati delle prove eseguite sulle carote estratte direttamente dalla pavimentazione.

I lavori sono stati eseguiti nel mese di maggio 2021, il prelievo delle carote e le prove sulle stesse sono state eseguite dal Laboratorio Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano.

2 RISANAMENTO DELLA SS 38 MERANO-BOLZANO

La SS 38 dello Stelvio, nella tratta Merano Bolzano (comunemente chiamata MeBo), è una strada extraurbana principale a carreggiate separate, realizzata dall'ANAS nei primi anni '90, in alternativa alla vecchia strada statale (tuttora esistente), a due corsie che collega tutti i paesi posti sulla riva sinistra del fiume Adige.

Dal 1° luglio 1998 le competenze su tutta la rete stradale, compresa la tratta Merano - Bolzano, sono passate dall'ANAS alla Provincia Autonoma di Bolzano.

Generalmente le pavimentazioni stradali hanno una vita utile di circa 20 anni, in quanto tendono ad “invecchiare” a causa del traffico e degli agenti meteo – climatici. Pertanto sono necessari interventi di manutenzione più o meno profondi per sostituire o risanare parte degli strati sottostanti al tappeto di usura. Tali interventi possono essere mirati al miglioramento delle caratteristiche della pavimentazione, sia sotto l'aspetto strutturale, sia sotto l'aspetto funzionale. La manutenzione può richiedere interventi ordinari ed interventi straordinari. Gli interventi di manutenzione straordinaria, orientati al rifacimento o al risanamento della pavimentazione, devono pertanto essere progettati analizzando lo stato di consistenza strutturale della pavimentazione e le condizioni del tappeto di usura in termini di aderenza e regolarità superficiale.

Dopo un periodo di oltre 20 anni dalla sua costruzione anche per la Mebo è stato ritenuto opportuno programmare ed eseguire indagini per valutare le condizioni strutturali e superficiali di tutta la pavimentazione. Sono state eseguiti sondaggi per la caratterizzazione dei terreni di sottofondo, prove con il Falling Weight Deflectometer (FWD) e prove con il georadar a cura del Laboratorio Nieveit, per valutare le caratteristiche strutturali; mentre quelle superficiali sono state rilevate mediante un veicolo multifunzionale (Multi Functional Vehicle - MFV), della DYNATEST DENMARK A/S che ha consentito di rilevare la regolarità longitudinale e trasversale, la macrorugosità (tessitura) e lo stato di ammaloramento della pavimentazione.

2.1 LE PROVE ESEGUITE

2.1.1 sondaggi per la caratterizzazione del sottofondo

L'Ufficio geologia e prove materiali ha eseguito alcune prove per rilevare alcuni parametri geologici e geotecnici. Sono stati eseguiti:

- 5 sondaggi di profondità 10 m dal km 217+000 al km 205+000 ai margini della carreggiata al fine di poter definire la stratigrafia esistente; in corrispondenza dei sondaggi sono stati installati anche 5 piezometri per rilevare la quota della falda;
- 4 saggi sulla carreggiata (ca. 2 x 1,5 x 1,5 m), con prove di carico su piastra e definizione delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo.

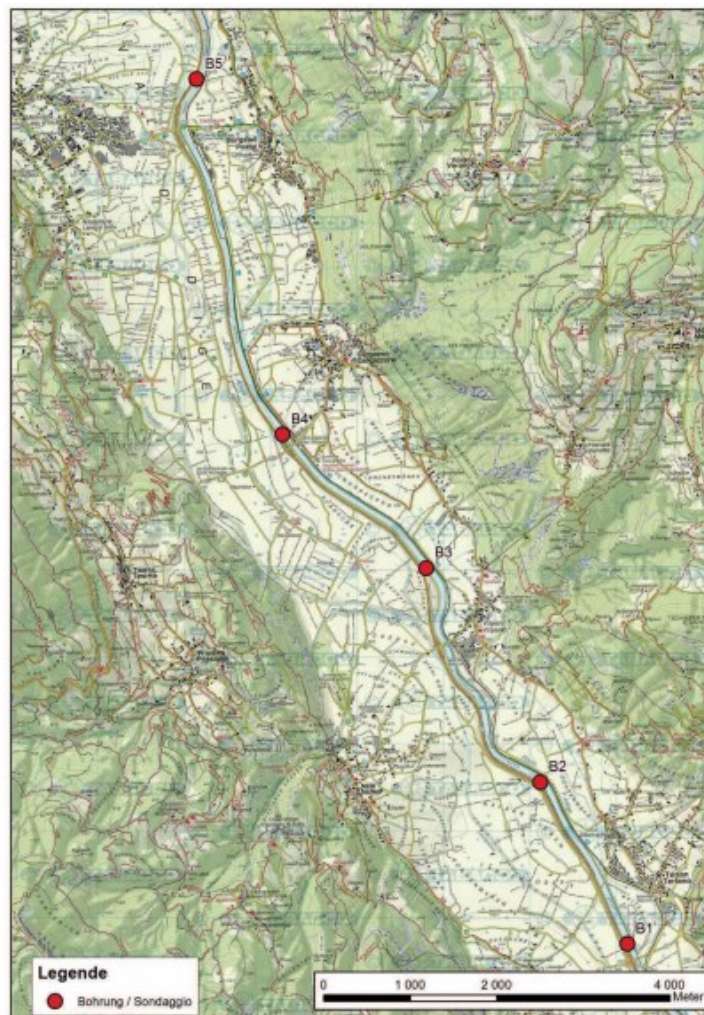


Figura 1 - Ubicazione dei sondaggi



Figura 2 - Esecuzione dei sondaggi



Figura 3 - Cassette catalogatrici con materiale estratto

2.1.2 Valutazione delle condizioni di portanza della pavimentazione

Le prove defletto metriche, eseguite con deflettometro a massa battente (FWD), consentono di valutare le caratteristiche di deformabilità sotto carico dei materiali costituenti gli strati della pavimentazione e del sottofondo.

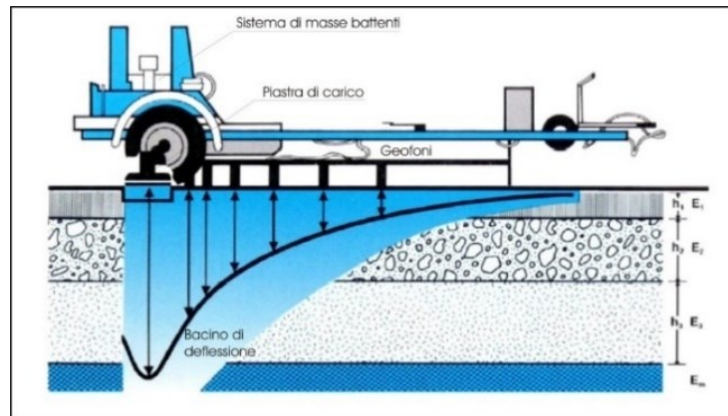


Figura 4 - Immagine schematica del FWD

Le prove FWD consistono nel far cadere da una determinata altezza una massa che corrisponde ad un carico sul punto di impatto pari a circa 120 kN. Per mezzo di una serie di 7 geofoni, posizionati ad una distanza crescente all'aumentare della distanza dal centro della piastra, vengono rilevate le deformazioni dinamiche che la massa battente produce nella sovrastruttura stradale. Questa operazione simula il passaggio di un asse di un veicolo pesante e rivela le deformazioni elastiche indotte (fig. 1). I bacini di deflessione, così rilevati, vengono sottoposti ad una back-calculation con l'ausilio di un programma di calcolo, per determinare i moduli elastici degli strati che compongono la pavimentazione stradale.

2.1.3 Determinazione degli spessori degli strati della pavimentazione

L'elaborazione dei dati delle prove FWD richiede la conoscenza degli spessori dei singoli strati della pavimentazione. Gli spessori sono stati determinati per mezzo di una campagna di carotaggi, eseguiti dal Laboratorio Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano, e da rilievi ad alto rendimento condotti per mezzo del Ground Penetration Radar della IDS.

2.1.4 Rilievo delle caratteristiche funzionali della pavimentazione

La valutazione delle caratteristiche funzionali avviene attraverso lo studio dei seguenti aspetti:

- Regolarità longitudinale e trasversale;
- Stato di ammaloramento superficiale della pavimentazione e calcolo dell'indice PCI sull'intera estensione delle infrastrutture;

La strumentazione impiegata per i rilievi è denominata Multi Functional Vehicle (MFV), un veicolo allestito con diverse apparecchiature, tra cui le principali sono:

- Il sistema di telecamere INO Laser Cracking Measurement System (LCMS) per l'acquisizione delle immagini e la scansione della superficie della pavimentazione, ubicato nella parte posteriore del veicolo;
- La barra profilometrica Road Surface Profiler (Dynatest RSP-5051 Mark III) nella configurazione con 17 laser, ubicata nella parte anteriore del veicolo.
- Una telecamera anteriore posizionata all'interno del veicolo;
- L'antenna AgGPS 132 Trimble posizionata sul tetto del veicolo;

- L'odometro Distance Measurement Instrument (DMI) posizionato sulla ruota posteriore sinistra.

2.1.5 Parametro per la valutazione della regolarità (IRI)

Per definire il livello di regolarità di una pavimentazione viene utilizzato l'indice IRI (International Roughness Index); introdotto nel 1982 a seguito delle campagne sperimentali condotte dalla World Bank. La sua determinazione è basata su un'accurata misura del profilo della pavimentazione, su una simulazione numerica della risposta di un veicolo ideale al profilo longitudinale e sul calcolo dell'accumulo dei movimenti effettuati dal sistema di sospensione. Il parametro IRI misura il numero di metri di oscillazione cumulata in un chilometro lineare (m/Km) valutando il numero di millimetri di scostamento dal profilo ideale per ogni metro percorso (mm/m), criteri adottato anche per le elaborazioni condotte sulla MeBo. Per l'elaborazione cromatica è stata utilizzata la classificazione prevista dal Ministero delle Infrastrutture per il monitoraggio delle pavimentazioni autostradali in concessione.

Valore di IRI (mm/m)	Colore	Definizione
IRI < 1.3		Classe A
1.3 < IRI < 2.0		Classe B
2.0 < IRI < 2.5		Classe C
2.5 < IRI < 3.0		Classe D
IRI > 3.0		Classe E

Tabella 1 - Valutazione del parametro IRI

2.1.6 Determinazione per il livello di ormaimento

L'analisi del profilo trasversale della pavimentazione, acquisito con un sufficiente numero di sensori ottici, consente di individuare la presenza di ormaie e di determinare la profondità di quest'ultime in diverse posizioni rispetto al veicolo utilizzato per il rilievo. Per l'elaborazione cromatica è stata utilizzata la classificazione riportata all'interno della Norma ASTM D 6433 "Roads and parking lots pavement condition index surveys" relativamente alla valutazione dell'ammaloramento "Rutting".

Valore di Rut depth (mm)	Colore	Definizione
Rutting < 6	Verde	Ormaimento non presente
6 < Rutting < 13	Verde chiaro	Ormaimento di severità BASSA
13 < Rutting < 25	Giallo	Ormaimento di severità MEDIA
Rutting > 25	Rosso	Ormaimento di severità ELEVATA

Tabella 2 - Livello di ormaimento

2.1.7 Rilievo degli ammaloramenti superficiali (visual distress)

L'impiego di telecamere con scansione laser INO LCMS consente di determinare le coordinate geometriche di 4096 punti su una sezione di larghezza 4m. Per ciascun punto viene rilevata la posizione sull'asse trasversale e la conseguente profondità. Una volta acquisite queste informazioni, grazie all'utilizzo di appositi software, si può procedere alla determinazione della presenza dell'ammaloramento sulla pavimentazione. Si possono inoltre ottenere altre informazioni quali: la lunghezza, il livello di severità (larghezza di apertura della fessura) e la coordinata GPS. Sfruttando i risultati del rilievo geometrico è possibile ricostruire un'immagine della superficie, equivalente ad una normale fotografia eseguita con apparecchiatura HD e sovrapporre il risultato dell'analisi numerica a quella puramente visiva. In una successiva fase di analisi si classificano gli ammaloramenti sia di tipo singolare (come fessure lineari longitudinali o trasversali) sia di tipo multiplo (come fessure a pelle di

coccodrillo o a blocchi). Al fine di fornire un parametro di sintesi per l'interpretazione del rilievo condotto, è stato determinato il valore del Pavement Condition Index (PCI), la cui procedura di calcolo è riportata all'interno della Norma ASTM D6433-11 "Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys". Secondo la citata Norma ASTM, gli ammaloramenti identificabili su una pavimentazione di tipo flessibile sono 16, di cui si riporta il codice identificativo e la denominazione.

Codice n°	Ammaloramento
1	Fessure a pelle di coccodrillo
2	Rifluimento del bitume
3	Fessure a blocchi
4	Avvallamenti
5	Scorrimento
6	Depressione
7	Fessure al bordo
8	Fessure per riflessione
9	Banchina sconnessa
10	Fessure longitudinali e trasversali
11	Rappezzo o taglio delle pavimentazione
12	Arrotondamento degli inerti
13	Buche
14	Attraverso sede ferroviaria
15	Ormaiamento
16	Shoving
17	Fessure per scorrimento
18	Rigonfiamento della pavimentazione
19	Distacco di inerti

Tabella 3 - Ammaloramenti superficiali

La procedura per la determinazione del PCI è oggettiva e basata su un metodo di calcolo ripetibile. Il valore di PCI fornisce un indicazione dell'integrità strutturale e delle condizioni operative di una pavimentazione. I dati relativi ai diversi ammaloramenti, evidenziati sulla superficie della pavimentazione, vengono inseriti all'interno di un algoritmo di calcolo. Si ottiene così un valore di PCI, valutato su una scala

da 0 a 100, dove 100 indica che la pavimentazione si trova in condizioni eccellenti e 0 che la pavimentazione è in condizioni pessime.

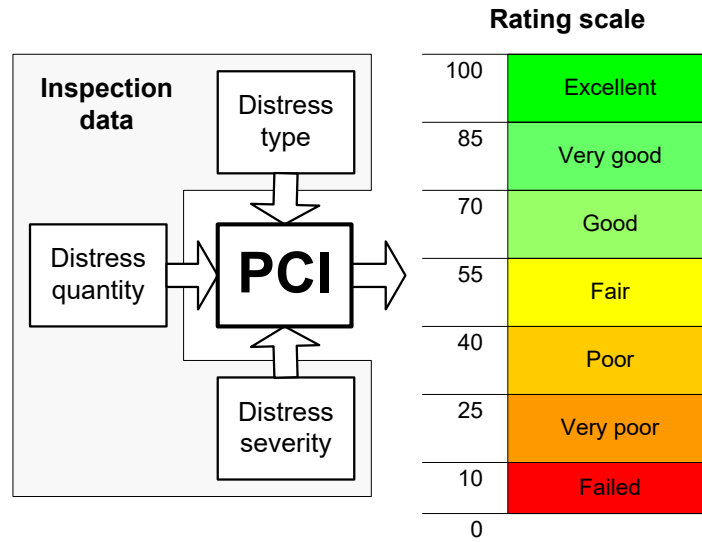


Figura 5 - Scala di valutazione del PCI

2.2 ANALISI DEI RISULTATI

2.2.1 Risultati delle prove FWD

Dalle prove eseguite con il Falling Weight Deflectometer si è evidenziato che la pavimentazione è suddivisa in 3 strati sopra al sottofondo:

1. Conglomerato bituminoso formato da più strati;
2. Strato di fondazione con spessore costante di 30 cm;
3. Strato di sotto fondazione con spessore di 60 cm;
4. Sottofondo.

Per tutti gli strati sono stati determinati i moduli elastici; per il conglomerato bituminoso si è fatto riferimento al modulo elastico ad una temperatura di 20°C essendo un materiale termo-dipendente. I risultati più significativi, forniti dal laboratorio Nieveit, sono stati riassunti in due tabelle relative alla corsia di marcia e alla corsia di sorpasso. Non sono stati presi in considerazione i valori dei moduli elastici del sottofondo poiché i valori di portanza risultavano buoni, superiori a quelli del sovrastante strato 3; inoltre il sottofondo era situato ad oltre 1,1 m di profondità dal piano stradale e quindi sarebbe stato difficile da intervenire.

Corsia di marcia					Progressiva km	Corsia di sorpasso				
strato 3 E ₃	strato 2 E ₂	strato 1 E _{1,20}	SCI* µm	DF1 µm		DF1 µm	SCI* µm	strato 1 E _{1,20}	strato 2 E ₂	strato 3 E ₃
86	478	3736	224	491	196.513	390	190	5572	505	264
180	308	1822	397	586	196.642	425	218	3937	685	201
66	332	3109	280	612	196.717	369	205	5019	550	284
116	172	2441	327	592	196.804	613	311	2566	315	86
142	316	2296	331	598	196.901	545	290	2906	359	118
202	430	3780	197	405	197.000	432	242	4547	216	389

Figura 6 - estratto della tabella riepilogativa delle prove FWD

Strato 3: strato di sottofondazione.

Lo spessore dello strato di sottofondazione è stato considerato, nella schematizzazione della pavimentazione, costante di 60 cm. Nella colonna i valori del modulo elastico inferiori a 150 MPa sono stati evidenziati in rosso, perché ritenuti critici per la vita utile della pavimentazione.

Strato 2: strato di fondazione.

Lo spessore dello strato di fondazione è stato considerato costante di 30 cm. I valori del modulo elastico sono stati suddivisi in 5 classi, non definite da valori limite, ma ottenute separando i risultati in ordine decrescente in 5 gruppi. Alle classi individuate è stato associato solo un giudizio relativo di situazione migliore o peggiore dell'una rispetto all'altra e non una valutazione assoluta della portanza. Solo i valori del modulo elastico dell'ultima classe (evidenziati in rosso) non sono risultati adeguati al tipo di strada, mentre quelli della penultima classe, pur essendo bassi (intorno a 300 MPa) sono stati considerati accettabili.

Strato 1: insieme dei vari strati di conglomerato bituminoso.

Come per lo Strato 2 i valori del modulo elastico sono stati distinti in 5 classi, i più bassi evidenziati in rosso, a seguire marrone, giallo, verde chiaro e verde scuro. Contrariamente allo Strato 2 sono stati considerati bassi i valori evidenziati in rosso, ma anche quelli colorati in marrone e giallo, mentre quelli verde chiaro hanno indicato un materiale al limite del collasso strutturale.

Parametro DF1: è la deflessione in μm registrata al di sotto della piastra di carico del FWD. Rappresenta la deformabilità complessiva dell'intera pavimentazione. Seguendo lo stesso criterio adottato per gli strati 1 e 2, i valori del parametro DF1 sono stati ripartiti in 5 classi: dai più alti in rosso ai più bassi in verde.

Parametro SCI*: è l'indice della curvatura superficiale del bacino di

deflessione, indica la deformabilità degli strati superficiali della pavimentazione. L'indice è calcolato in μm come differenza tra le deflessioni misurate dal primo geofono (posizionato sotto la piastra di carico) e dal terzo (a 50 cm dalla piastra di carico). Anche i valori del parametro SCI* sono stati ripartiti in 5 classi il rosso evidenzia conglomerati bituminosi nello stato peggiore, il verde i migliori.

2.2.2 Valutazione delle caratteristiche strutturali della pavimentazione

Sulla base dei dati raccolte con le prove FWD è stato realizzato uno schema planimetrico della pavimentazione dove le 4 corsie sono state colorate con gli stessi 5 colori adottati per la valutazione dei parametri più significativi. Nella parte centrale della MeBo la pavimentazione ha evidenziato peggiori condizioni strutturali.

La situazione più critiche:

Direzione Bolzano:

- Tra km 208+500 e 217+500 corsia di marcia;
- Tra km 206+000 e 217+500 corsia di sorpasso;

Direzione Merano:

- Tra km 206+000 e 217+500 corsia di marcia;
- Tra km 205+000 e 216+500 corsia di sorpasso;

2.2.3 Regolarità superficiale longitudinale

Utilizzando la classificazione prevista dal Ministero delle Infrastrutture per il monitoraggio delle pavimentazioni stradali in concessione, i risultati sono stati divisi in 5 classi in base all'indice di regolarità superficiale (IRI).

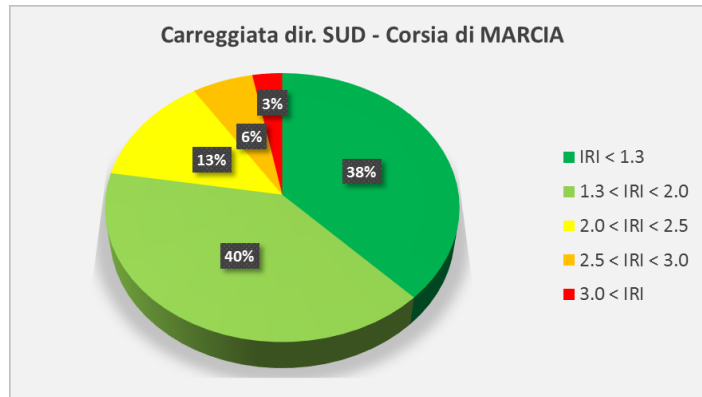


Figura 7 - Ripartizione percentuale di IRI - Corsia di marcia direzione Bolzano

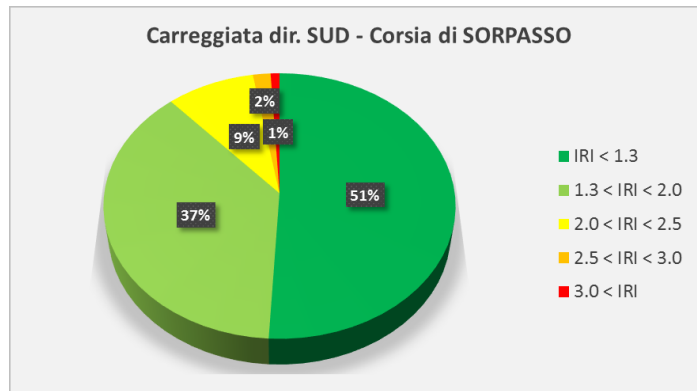


Figura 8 - Ripartizione percentuale di IRI - Corsia di sorpasso direzione Bolzano

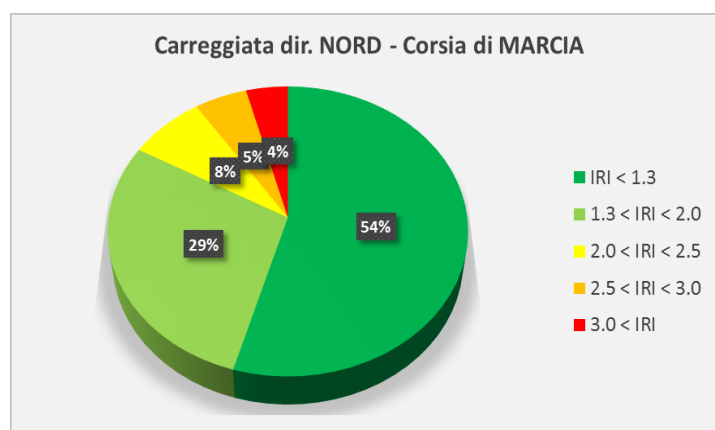


Figura 9 - Ripartizione percentuale di IRI - Corsia di marcia direzione Merano

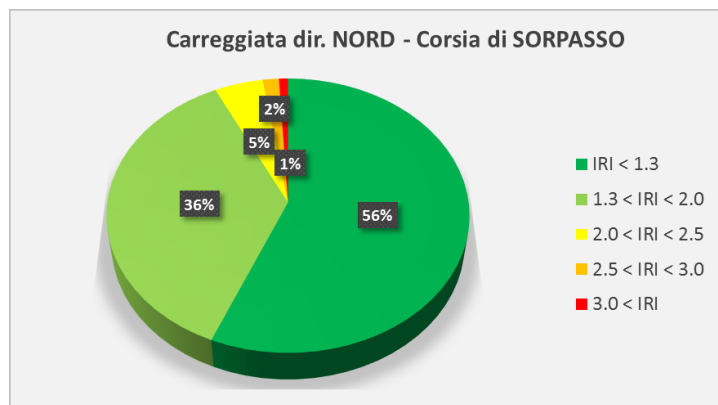


Figura 10 - Ripartizione percentuale di IRI - Corsia di sorpasso direzione Merano

Per sintetizzare i risultati di IRI in tratte di lunghezza significativa, si è proceduto ad individuare l'estensione e l'ubicazione delle sezioni omogenee, impiegando il metodo statistico delle somme cumulate. In questo modo è stato possibile identificare le sezioni omogenee di ogni allineamento e il relativo valore medio del parametro IRI, deviazione standard e il coefficiente di variazione. La regolarità superficiale è risultata molto buona per entrambe le direzioni di marcia, leggermente migliore sulle corsie di sorpasso rispetto a quelle di marcia.

Marcia - Southbound					
Sezione n.	Da (km)	A (km)	IRI (mm/m)		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	199.600	1.44	0.33	23.20
S2	199.600	203.100	2.38	0.59	24.76
S3	203.100	204.400	1.48	0.48	32.03
S4	204.400	205.700	2.32	0.67	29.02
S5	205.700	209.100	1.20	0.28	23.22
S6	209.100	210.300	1.75	0.42	24.15
S7	210.300	211.900	1.29	0.27	20.64
S8	211.900	213.200	2.00	0.49	24.33
S9	213.200	216.600	1.20	0.30	24.84
S10	216.600	218.000	1.90	0.52	27.32
S11	218.000	221.200	1.12	0.29	26.21
S12	221.200	223.300	2.03	0.47	23.27
S13	223.300	224.200	1.21	0.26	21.37
S14	224.200	224.900	2.09	0.30	14.53

Tabella 4 - Valori di IRI per sezioni omogenee - Corsia di marcia direzione Bolzano

Sorpasso - Southbound					
Sezione n.	Da (km)	A (km)	IRI (mm/m)		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	197.700	1.13	0.22	19.06
S2	197.700	200.300	1.62	0.43	26.60
S3	200.300	202.000	1.18	0.14	11.95
S4	202.000	203.800	1.54	0.43	27.86
S5	203.800	205.300	1.21	0.49	40.55
S6	205.300	207.600	0.99	0.18	18.31
S7	207.600	209.200	1.26	0.22	17.53
S8	209.200	211.600	1.21	0.30	24.91
S9	211.600	213.000	1.53	0.29	18.96
S10	213.000	215.100	1.01	0.21	21.31
S11	215.100	216.200	1.55	0.41	26.62
S12	216.200	216.900	1.11	0.16	14.03
S13	216.900	218.000	2.11	1.03	48.57
S14	218.000	220.300	0.85	0.23	26.89
S15	220.300	223.400	1.48	0.26	17.55
S16	223.400	224.200	0.91	0.21	23.10
S17	224.200	225.000	2.05	0.46	22.19

Tabella 5 - Valori di IRI per sezioni omogenee - Corsia di sorpasso direzione Bolzano

Marcia - Northbound					
Sezione n.	Da (km)	A (km)	IRI (mm/m)		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	198.600	1.23	0.27	21.99
S2	198.600	202.100	2.61	0.61	23.17
S3	202.100	203.100	1.10	0.27	24.36
S4	203.100	204.200	1.80	0.35	19.36
S5	204.200	209.500	1.12	0.25	22.40
S6	209.500	212.600	1.42	0.29	20.39
S7	212.600	212.900	3.02	0.39	0.13
S8	212.900	217.200	1.05	0.28	26.46
S9	217.200	218.100	1.99	0.48	24.14
S10	218.100	220.400	1.07	0.23	21.35
S11	220.400	224.500	1.55	0.60	39.07

Tabella 6 - Valori di IRI per sezioni omogenee - Corsia di marcia direzione Merano

Sorpasso - Southbound					
Sezione n.	Da (km)	A (km)	IRI (mm/m)		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	198.600	1.29	0.17	12.91
S2	198.600	200.600	1.80	0.36	20.23
S3	200.600	202.200	1.56	0.27	17.29
S4	202.200	203.000	0.92	0.14	15.67
S5	203.000	204.800	1.64	0.51	31.22
S6	204.800	207.200	0.73	0.14	19.08
S7	207.200	210.900	1.16	0.22	19.26
S8	210.900	212.600	1.46	0.17	11.83
S9	212.600	214.700	0.77	0.19	24.53
S10	214.700	217.300	1.45	0.31	21.32
S11	217.300	217.900	2.50	1.08	43.05
S12	217.900	220.400	0.98	0.33	33.91
S13	220.400	223.200	1.66	0.27	16.07
S14	223.200	224.100	0.87	0.18	20.62
S15	224.100	224.500	2.19	0.37	16.76

Tabella 7 - Valori di IRI per sezioni omogenee - Corsia di sorpasso direzione Merano

2.2.4 Regolarità superficiale trasversale (ormaiamento)

L'ormaiamento è la deformazione verticale permanente accumulata dalla pavimentazione in corrispondenza della zona di contatto con le ruote dei mezzi in transito. I valori di ormaiamento sono stati raggruppati in 4 classi con colorazioni differenti per evidenziarne la prestazione: verde scuro profondità < 6mm, verde chiaro profondità compresa tra i 6 e i 13 mm, giallo profondità compresa tra i 13 e 25 mm e rosso profondità > 25mm. La regolarità superficiale trasversale è risultata molto buona in entrambe le direzioni di marcia, soprattutto sulle corsie di sorpasso.

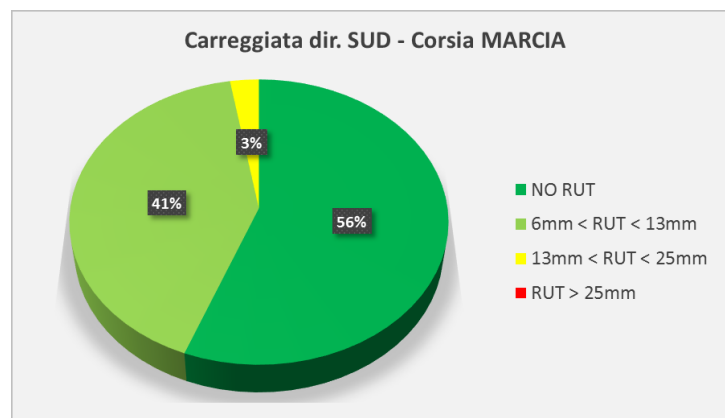


Figura 11 - Ripartizione percentuale del livello di ormaiamento - Corsia di marcia direzione Bolzano

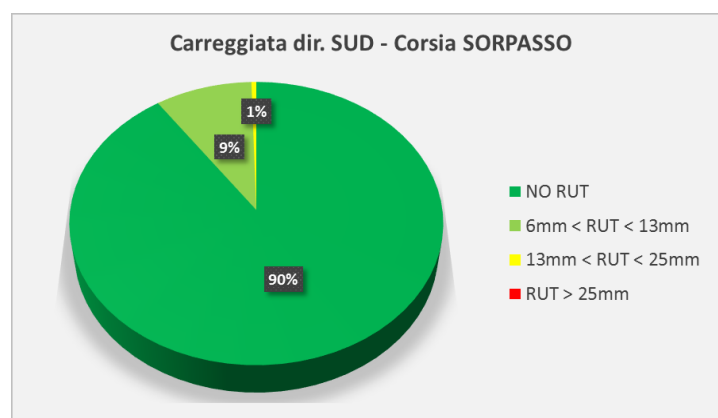


Figura 12 - Ripartizione percentuale del livello di ormaiamento - Corsia di sorpasso direzione Bolzano

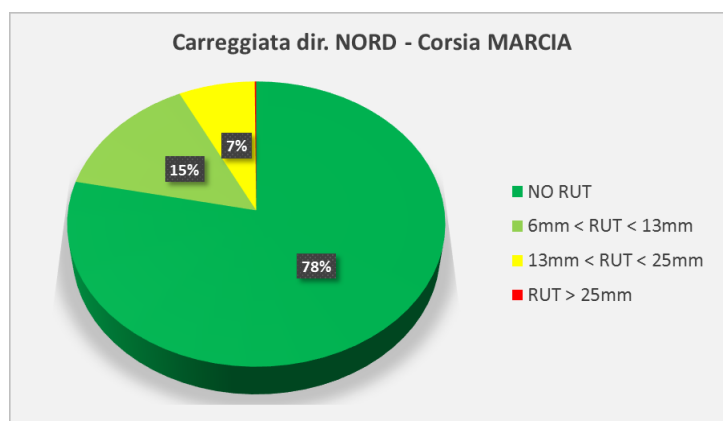


Figura 13 - Ripartizione percentuale del livello di ormaiamento - Corsia di marcia direzione Merano

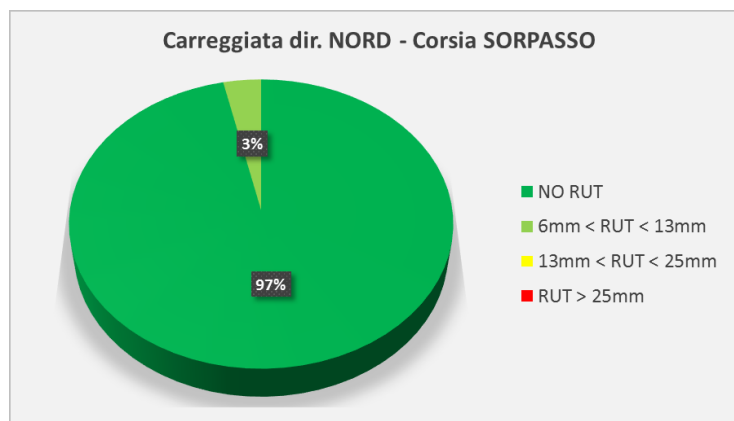


Figura 14 - Ripartizione percentuale del livello di ormaiamento - Corsia di sorpasso direzione Merano

2.2.5 Ammaloramenti superficiali

Gli ammaloramenti superficiali sono stati sintetizzati con il parametro Pavement Condition Index (PCI) e classificati in 7 categorie. Le figure 12 – 13 – 14 – 15 – 16 riportano la distribuzione percentuale dei valori ottenuti per le 4 corsie. Per sintetizzare i risultati del PCI in tratte di lunghezza significativa sono state individuate l'estensione e l'ubicazione delle sezioni omogenee riportate nelle tabelle sottostanti. Entrambe le

carreggiate hanno evidenziato buoni risultati (leggermente migliori le corsie di marcia rispetto a quelle di sorpasso).

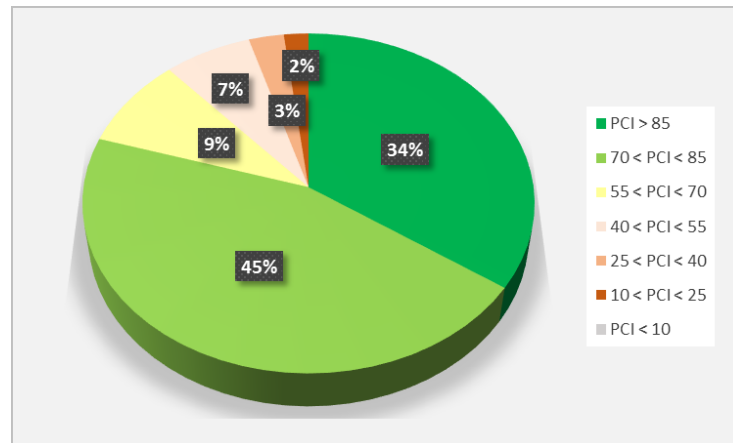


Figura 15 - Ripartizione percentuale dei valori PCI - Corsia di marcia direzione Bolzano

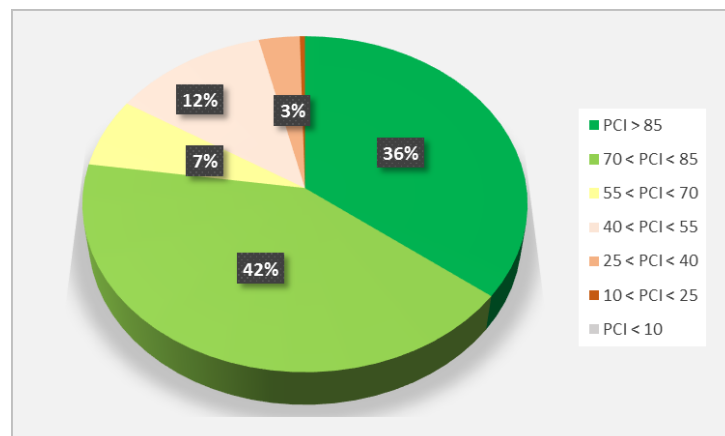


Figura 16 - Ripartizione percentuale dei valori PCI - Corsia di sorpasso direzione Bolzano

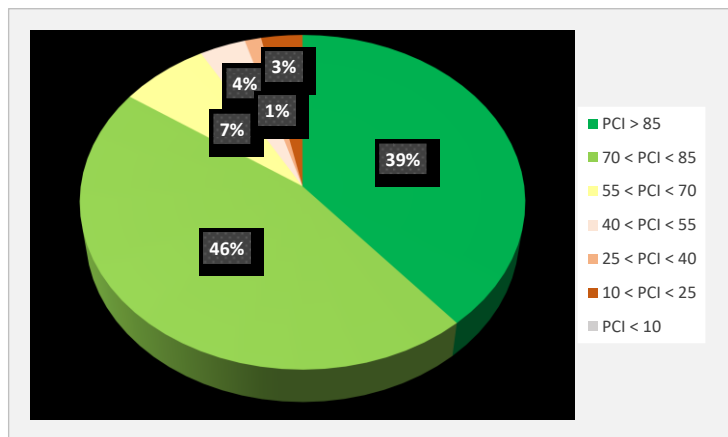


Figura 17 - Ripartizione percentuale dei valori PCI - Corsia di marcia direzione Merano

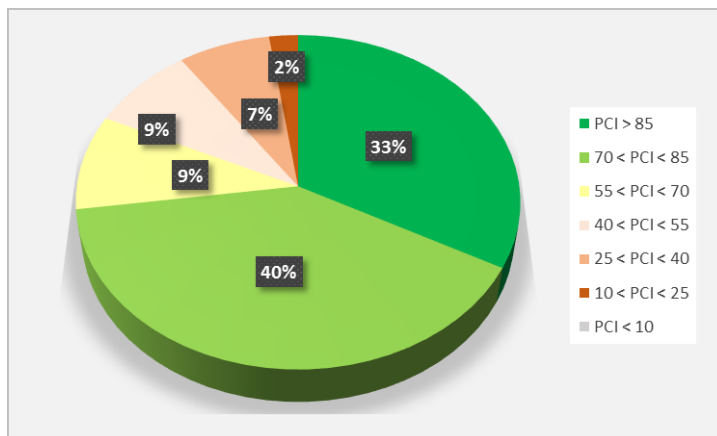


Figura 18 - Ripartizione percentuale dei valori PCI - Corsia di sorpasso direzione Merano

Sezione n.	Da (km)	A (km)	PCI		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	197.280	61.4	12.3	20.0
S2	197.280	200.160	90.0	14.0	15.6
S3	200.160	202.140	26.9	6.2	22.6
S4	202.140	202.980	73.2	12.6	17.3
S5	202.980	204.480	99.1	2.3	2.3
S6	204.480	205.800	70.5	14.3	20.3
S7	205.800	208.560	50.3	9.9	19.8
S8	208.560	209.820	81.0	13.4	16.5
S9	209.820	211.380	64.1	18.1	28.3
S10	211.380	213.000	66.7	19.0	28.6
S11	213.000	214.920	100.0	0.0	
S12	214.920	217.740	74.8	10.2	13.6
S13	217.740	221.040	98.8	3.0	3.1
S14	221.040	221.880	56.2	9.4	16.7
S15	221.880	223.200	80.3	18.5	23.0
S16	221.880	225.000	92.0	10.6	11.5

Tabella 8 - valori di PCI per sezioni omogenee - Corsia di marcia direzione Bolzano

Sezione n.	Da (km)	A (km)	PCI		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	200.160	91.3	10.3	11.3
S2	200.160	202.140	56.4	2.7	4.8
S3	202.140	207.660	93.0	9.2	9.8
S4	207.660	212.940	50.6	9.4	18.5
S5	212.940	214.920	98.9	4.4	4.4
S6	214.920	217.500	46.5	15.4	33.1
S7	217.500	225.000	95.2	7.8	8.2

Tabella 9 - valori di PCI per sezioni omogenee - Corsia di sorpasso direzione Bolzano

Sezione n.	Da (km)	A (km)	PCI		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	197.160	76.2	15.6	0.2
S2	197.160	198.720	98.3	2.4	2.4
S3	198.720	202.200	77.6	20.4	26.3
S4	202.200	203.520	99.6	1.2	1.2
S5	203.520	204.420	69.8	13.9	19.9
S6	204.420	209.640	95.4	8.7	9.1
S7	209.640	211.740	66.4	11.8	17.7
S8	211.740	212.580	100.0	-	-
S9	212.580	213.000	53.5	11.6	21.8
S10	213.000	214.740	99.6	1.4	1.4
S11	214.740	218.520	79.5	18.8	23.6
S12	218.520	220.500	99.9	0.7	0.7
S13	220.500	220.980	52.1	8.4	16.2
S14	220.980	224.500	95.9	8.4	8.8

Tabella 10 - valori di PCI per sezioni omogenee - Corsia di marcia direzione Merano

Sezione n.	Da (km)	A (km)	PCI		
			Media	Dev.st.	CV
S1	196.500	199.620	90.7	9.5	10.4
S2	199.620	201.660	42.6	10.9	25.5
S3	201.660	202.920	99.2	3.0	3.0
S4	202.920	203.940	76.6	4.5	5.8
S5	203.940	206.760	99.2	1.9	1.9
S6	206.760	212.520	50.5	12.9	25.6
S7	212.520	214.380	98.2	6.0	6.1
S8	214.380	216.720	34.5	19.6	56.9
S9	216.720	219.900	97.3	6.6	6.8
S10	219.900	221.460	43.4	11.7	26.9
S11	221.460	224.500	93.9	6.7	7.2

Tabella 11 - valori di PCI per sezioni omogenee - Corsia di sorpasso direzione Merano

2.2.6 Valutazione delle caratteristiche funzionali della pavimentazione

Per facilitare l'individuazione rapida delle diverse condizioni funzionali è stato predisposto uno schema planimetrico dove le 4 corsie sono state colorate con i 5 colori adottati per le prove FWD. Nello schema planimetrico sono stati adottati i 5 colori per l'IRI, 4 per le ormaie e 5 per il PCI, anziché 7, perché la quarta è stata accorpata con quinta e la sesta con la settima. La percezione della situazione reale, con questa scelta, non è stata minimamente alterata poiché la settima classe è assente, la sesta classe (colore rosso) è nell'ordine del 3%, la quarta e la quinta (colore arancione) pesano complessivamente per il 10% - 15%. Le poche situazioni critiche sono state rilevate tra i km:

- 200+000 e 202+000 delle due carreggiate in entrambe le corsie;
- 207+500 e 212+000;
- 215+000 e 217+000 corsia di sorpasso in direzione Bolzano;
- 206+500 e 211+500 corsia di sorpasso in direzione Merano.

2.3 PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE

2.3.1 Tipologia degli interventi

Sono state individuate 4 tipologie di interventi di manutenzione legate alle esigenze di risanamento e alle risorse finanziarie disponibili.

- **Tipologia 1A:** intervento di tipo profondo, demolizione e rifacimento totale della pavimentazione su tutta la carreggiata (con obiettivo di una vita utile di circa 20 anni). Impiego di emulsione bituminosa nel trattamento di stabilizzazione del nuovo strato di fondazione nelle zone con una significativa risalita capillare.
- **Tipologia 1B:** intervento di tipo profondo, demolizione e rifacimento della pavimentazione su tutta la carreggiata.
- **Tipologia 2:** intervento di tipo intermedio (vita utile circa 10 anni), da realizzare su brevi tratte, anche su singola corsia, finalizzato al rinvio del rifacimento totale della pavimentazione, quando la carreggiata è prossima al collasso strutturale.
- **Tipologia 3:** intervento superficiale, rifacimento del solo tappeto di usura per ripristinare le condizioni di aderenza e di regolarità.

Tutte le tipologie di intervento, limitato ad una corsia, prevedono la realizzazione del tappeto superficiale di usura eseguito tramite l'utilizzo di due finitrici affiancate, in modo da evitare la formazione del giunto longitudinale di stesa.

2.3.1.1 Intervento tipo 1A – Risanamento profondo in zone con risalita capillare

- Rimozione della pavimentazione esistente fino a quota -30 cm.

- Trattamento con calce e/o cemento ed emulsione sovrastabilizzata della fondazione e del sottofondo per una profondità di 30 cm.
- Realizzazione dello strato di base a freddo (fresato + emulsione di bitume modificato e cemento) confezionata in impianto oppure in sito mediante macchina stabilizzatrice. Spessore 20 cm.
- Stesa di binder (7 cm) e del tappeto di usura (3 cm).

2.3.1.2 Intervento tipo 1B – Risanamento profondo in zone senza risalita capillare

- Rimozione della pavimentazione esistente fino a quota -30 cm.
- Trattamento con calce e/o cemento della fondazione e del sottofondo per una profondità di 30 cm.
- Realizzazione dello strato di base a freddo (fresato + emulsione di bitume modificato e cemento) confezionato in impianto oppure in sito mediante macchina stabilizzatrice. Spessore 20 cm.
- Stesa di binder (7 cm) e del tappeto di usura (3 cm).

2.3.1.3 Intervento di tipo 2 – Risanamento intermedio

- Prima fresatura fino a quota -3 cm, dal bordo della carreggiata fino a 50 cm oltre il limite della corsia (solo nel caso di intervento su singola corsia).
- Seconda fresatura fino a quota -10 cm, dal bordo della carreggiata fino a 30 cm oltre il limite della corsia (singola corsia). Nel caso di intervento su tutta la carreggiata, fresatura unica fino a quota -10 cm.
- Posa in opera di una rete di rinforzo in fibra di vetro sul fondo della seconda fresatura.
- Stesa di binder (7 cm) e del tappeto di usura (3 cm).

2.3.1.4 Intervento di tipo 3 – Risanamento superficiale

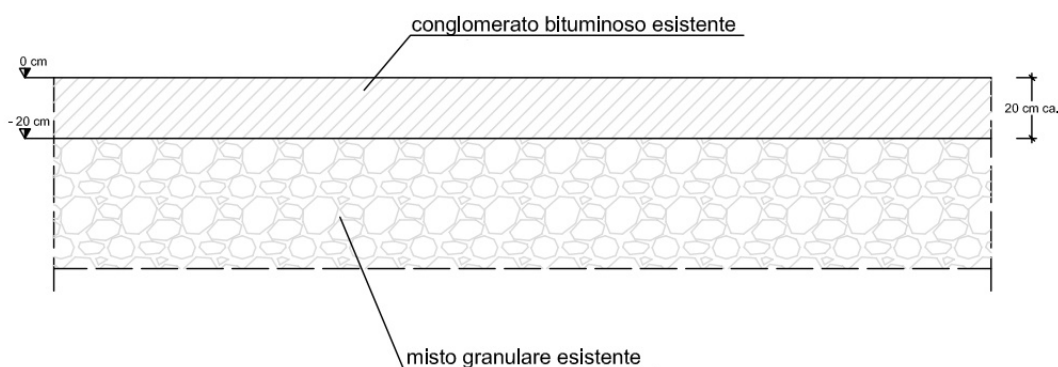
- Fresatura fino a quota -3 cm.
- Stesa del tappeto di usura (3 cm).

2.4 INTERVENTO REALIZZATO NELLA PRIMAVERA DEL 2021

Intervento eseguito nel 2° Lotto del tratto stradale sulla carreggiata in direzione Merano dal km 211+500 al km 212+950 - corsia di marcia e di sorpasso nei Comuni di Terlano e Nalles.

2.4.1 Situazione esistente

I risultati delle indagini eseguite hanno rilevato che lo spessore complessivo degli strati di conglomerato bituminoso, salvo rare situazioni poco estese, oscilla intorno ai 20 cm. Lo strato di fondazione ha per lo più uno spessore di 35-40 cm, ma per diverse tratte non è rilevabile la linea di separazione con il materiale sottostante. La falda è presente ad una profondità di circa 4-5 m dal piano stradale con una escursione di +/- 2 m.



2.4.2 Intervento eseguito

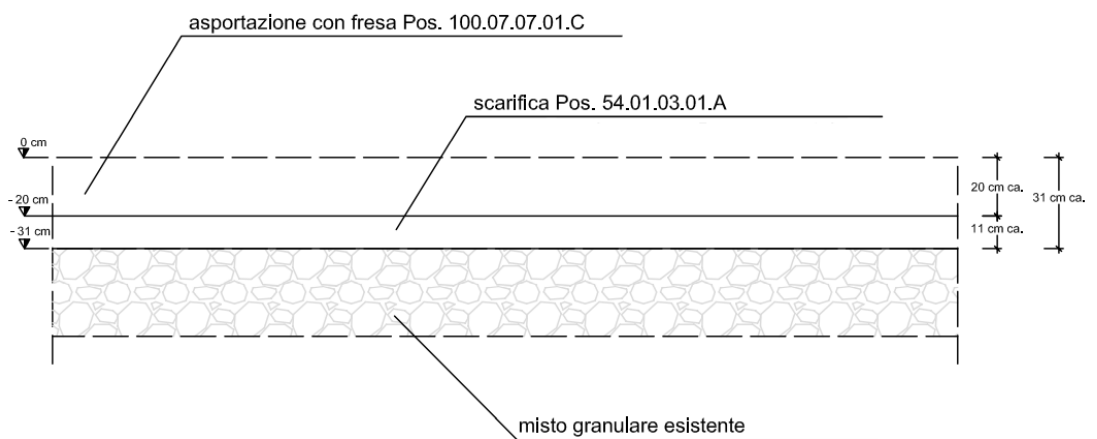
Dai risultati del FWD si evidenzia come lo strato di fondazione in diversi tratti della pavimentazione nella corsia di marcia ci siano moduli elastici < 300 MPa. Inoltre, il resto della pavimentazione si presenta diffusamente fessurata. Si prevede quindi un intervento di risanamento profondo. L'intervento è finalizzato a ripristinare la vita utile della pavimentazione a 20 anni, salvo la necessità di ripristinare le condizioni superficiali di aderenza e regolarità con un intervento manutentivo superficiale (tipo nuovo tappeto) dopo circa 10 anni. L'intervento interessa un tratto di lunghezza complessiva di 1450m.

➤ Dal km 211+500 al km 211+650 sono stati effettuati i seguenti interventi:

1. Fresatura fino a quota -9 cm su tutta la carreggiata dal piano stradale;
2. Stesa di binder (6 cm) e del tappeto di usura con polverino di gomma AR 16 - TIPO DRY ITALIA (3 cm).

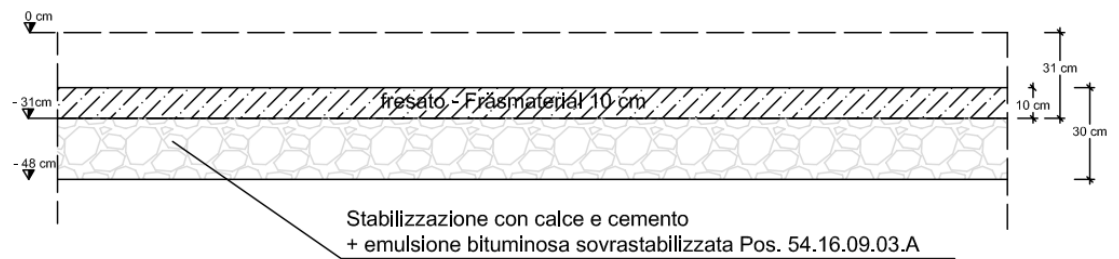
➤ Dal km. 211+650 al km 212+950 sono stati effettuati i seguenti interventi (risanamento profondo per una lunghezza di 1.300 m):

1. Fresatura a freddo degli strati di asfalto esistente fino a quota -20 cm circa (eventuale fresatura separata di tappeto a granulometria più fine e dei conglomerati sottostanti per ottimizzare il riutilizzo del fresato);
2. Asporto di 11 cm circa del misto granulare esistente (scarifica fino a quota -31 cm);

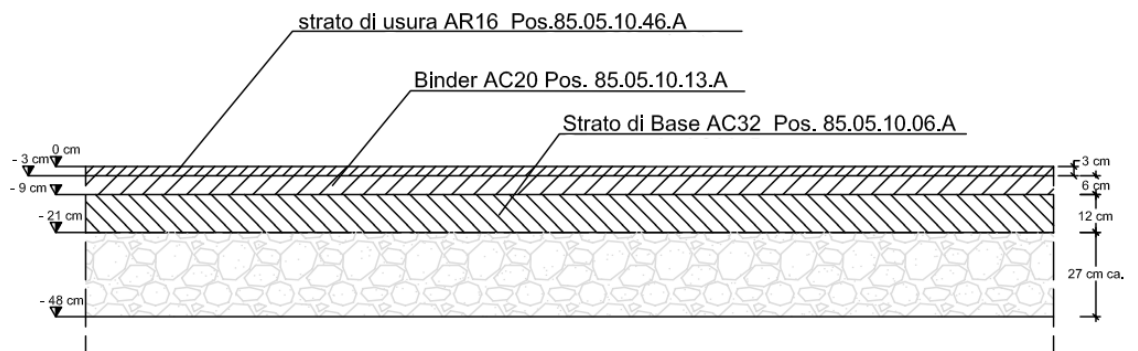


3. Stesa di strato di 10 cm di fresato e spianamento con macchina livellatrice (grader);
4. Stesa di calce con spanditrice automatica;
5. Due miscele con macchina stabilizzatrice (pulvimixer) - con profondità dello strato di miscelazione di 30 cm;

6. Spandimento di cemento e miscelazione con emulsione bituminosa sovrastabilizzata tramite macchina stabilizzatrice (pulvimixer);
7. Prima compattazione con rullo monotamburo (liscio) vibrante e profilatura dello strato con macchina livellatrice (grader);
8. Compattazione finale con rullo vibrante >18 t e rullo gommato >25 t NB: Lo strato compattato dopo tutte le lavorazioni deve risultare a quota -21 cm e deve avere le pendenze trasversali previste per la pavimentazione finita;
9. Stesa di emulsione sovrastabilizzata (la stessa usata per la miscelazione sotto punto 6) e stesa graniglia per la protezione durante la maturazione;



10. Stesa degli strati bituminosi (base 12 cm, binder 6 cm, tappeto con polverino di gomma AR 16 - TIPO DRY ITALIA 3 cm).



3 CONGLOMERATI BITUMINOSI CON POLVERINO DI GOMMA

Per la realizzazione del tappeto di usura possono essere usati materiali inquinanti e di scarto opportunamente riciclati. Nel campo dei bitumi per uso stradale la produzione di leganti di prestazioni superiori avviene attraverso la modifica del bitume con l'aggiunta di polimeri plastomeri, ad esempio del tipo EVA (ethylene-vinyl-ethylene), o, più diffusamente, di SBS (styrene-butadiene-styrene) o SBR (styrene-butadiene-styrene). Negli Stati Uniti e in vari Paesi Europei per migliorare le caratteristiche del bitume frequentemente viene riutilizzata la gomma degli pneumatici di scarto. Il bitume modificato con il polverino di gomma, noto come Asphalt Rubber, rappresenta una valida alternativa per il confezionamento di conglomerati bituminosi di ottima durabilità e resistenti a severe condizioni di carico. Oltre ad offrire vantaggi dal punto di vista ecologico, il bitume con polverino di gomma riesce a diminuire la generazione e la propagazione del rumore di rotolamento, con una riduzione di 9 dB del livello sonoro in ambiti urbani di circolazione. Il polverino di gomma può essere incluso all'interno dei conglomerati bituminosi per pavimentazioni stradali ricorrendo a due diverse tecnologie di produzione:

- La tecnologia “wet” (processo maggiormente utilizzato), consiste nel disperdere il polverino all'interno del bitume, modificandone le caratteristiche viscoelastiche;
- La tecnologia “dry”, nella quale il polverino sostituisce una parte degli aggregati lapidei, modificando le caratteristiche del risultante scheletro litico e dando luogo ad una limitata interazione con il legante bituminoso.

I bitumi, per ottenere il confezionamento di conglomerati stradali, vengono modificati per cambiare la struttura chimica, fisica e le proprietà meccaniche del materiale vergine. Questi conglomerati vengono utilizzati in quei casi in cui i bitumi convenzionali presentano dei limiti di tipo:

- Insufficiente resistenza all'ormaiamento, a causa di un elevato traffico veicolare ed ad alte temperature;
- Possibilità di trasudamento (bleeding);

- Eccessiva rigidezza dei bitumi tradizionali, che possono essere soggetti a fessurazione termica alle basse temperature;
- Utilizzo di miscele aperte, che non garantiscono, con i bitumi normali, adeguati livelli di sicurezza e durabilità a causa dell'azione degli agenti atmosferici e della discontinuità dei punti di contatto all'interno dello scheletro litico.
- Utilizzo di conglomerati Stone Mastix Asphalt, che hanno un elevato rischio di bleeding e ormaiamento a causa della poca presenza di sabbia, sostituita con la frazione fine, e un elevato dosaggio di bitume.

3.1 LAVORAZIONE DEL POLVERINO DI GOMMA

Il processo di lavorazione a cui sono sottoposti gli pneumatici fuori uso (PFU) si compone di varie fasi nel corso delle quali la gomma viene separata dagli altri materiali presenti (fibre tessili ed elementi metallici) e meccanicamente ridotta in forma granulare fino alla pezzatura desiderata. Quando le operazioni di lacerazione, taglio ed abrasione avvengono a temperatura poco superiore a quella ambiente, il processo viene denominato “ambient size reduction”. Quando, invece, i PFU vengono portati, con idonei impianti, ad una temperatura inferiore a quella di transizione vetrosa, il processo viene indicato come “criogenico”.

- **Processo di macinazione a temperatura ambiente (ambient size reduction)** Una
Una volta conferiti all'impianto di trattamento, gli pneumatici, se da autocarro (contengono generalmente una percentuale di gomma naturale superiore a quella relativa agli pneumatici per veicoli leggeri), vengono dapprima sottoposti alla cosiddetta stallonatura, con rimozione degli anelli metallici che supportano il tallone. I PFU vengono quindi avviati alla triturazione, eseguita in due fasi, che li riduce in brandelli irregolari aventi dimensione massima dell'ordine dei 15-30 cm. Segue quindi la fase di granulazione, che produce frammenti uniformi di forma cubica e di dimensioni variabili. Tali prodotti vengono poi sottoposti a macinazione, ricavandone un granulato caratterizzato da una morfologia più adatta alla reazione con il bitume. Le

particelle di gomma ottenute sono caratterizzate da superfici irregolari e porose, aventi dimensioni variabili tra 0,5 e 5mm.

➤ **Processo criogenico**

Attraverso questo processo la macinazione degli pneumatici avviene una volta raggiunta la temperatura di fragilizzazione della gomma (tra -87°C e -197°C), che si raggiunge immergendo i PFU in un bagno di azoto liquido. La gomma, alle basse temperature, diventa molto fragile e può essere frantumata attraverso una pressa, per ottenere particelle di dimensione prefissata. Le particelle di gomma ricavate con questo processo sono caratterizzate da superficie praticamente liscia che comporta un minor grado di reazione con il bitume e inferiori proprietà elastiche della miscela. Perciò si introduce un ulteriore processo di irruvidimento del polverino attraverso un molino cracker rotermill.

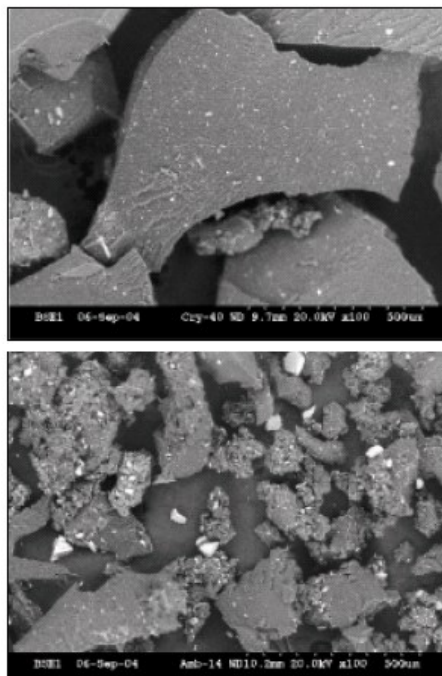


Figura 19: confronto al microscopio delle particelle di polverino ottenute con le due differenti metodologie di produzione

Entrambi i processi terminano con una fase di setacciatura centrale, finalizzata a separare le particelle di polverino a seconda delle dimensioni, eliminando eventuali contaminanti come acqua, fibre, minerali o metalli. Si segnala infine che le caratteristiche del polverino da PFU dipendono, oltre che dal tipo di processo di trattamento, anche dalla natura della gomma soggetta a lavorazione. Quest'ultima può infatti variare a seconda delle specifiche mescole impiegate dai produttori e della iniziale destinazione d'uso degli pneumatici. A tal proposito si rileva infatti che negli pneumatici per automezzi pesanti viene generalmente impiegata una percentuale di gomma naturale superiore a quella relativa agli pneumatici per veicoli leggeri.



Figura 20 polverino di gomma

3.2 TECNOLOGIA “WET”

Nel caso della tecnologia “wet”, la dispersione delle particelle di polverino all’interno del bitume avviene, ad una temperatura di 175-225°C, mediante accurata miscelazione meccanica. A seconda del tipo e dosaggio di polverino impiegato, i leganti bituminosi prodotti con tale tecnologia possono essere distinti in due categorie, cui corrispondono tipici ambiti di impiego differenti:

- Leganti ad alta viscosità (“Asphalt Rubber”);
- Leganti a più bassa viscosità (“Terminal Blend”).

I leganti del tipo “Asphalt Rubber” immediatamente dopo la miscelazione vengono mantenuti in agitazione ad elevata temperatura (150-215°C) per un periodo di tempo, dell’ordine dei 45-60 minuti, necessario affinché possano verificarsi i fenomeni di interazione tra i due materiali componenti. Ne risulta un materiale composito nel quale le singole particelle di polverino mantengono la loro integrità e sono distinguibili, anche visivamente, dalla matrice nella quale sono incluse. Tali leganti vengono denominati “ad alta viscosità” in quanto ad una data temperatura di riferimento (pari a 175°C secondo quanto indicato nelle norme ASTM) posseggono una viscosità non inferiore a 1500 cP. Essi generalmente contengono una percentuale di polverino pari ad almeno il 15% del peso totale del legante. Le caratteristiche del legante risultante dal processo di modifica risultano dipendenti, oltre che dalla costituzione chimica dei due materiali componenti, dal dosaggio di polverino nonché dalla dimensione e morfologia delle sue particelle. I polverini di pezzatura più fine costituiti da particelle rugose e di forma irregolare risultano più reattivi. La Norma ASTM D6114 si limita a imporre un valore soglia alla massima dimensione delle particelle (< 2,36 mm), segnalando tuttavia che la granulometria del polverino deve essere concordata tra il produttore del legante e l’acquirente. I leganti denominati “Terminal Blends” non raggiungono il su citato valore di soglia di viscosità. Ciò in ragione del fatto che vengono impiegati polverini più fini (solitamente passanti allo staccio da 0,3 mm) e con un dosaggio inferiore (in genere non superiore al 10%). Per effetto della elevata superficie specifica del polverino, la sua interazione con il bitume avviene piuttosto rapidamente durante la

miscelazione, con la conseguente creazione di una matrice macroscopicamente omogenea nella quale non sono più distinguibili le particelle originarie. I leganti di tipo “Asphalt Rubber” o di tipo “Terminal Blend” possono essere utilizzati per la produzione di conglomerati bituminosi seguendo in impianto le stesse procedure previste per le miscele di tipo tradizionale. I leganti “Asphalt Rubber” debbono essere destinati alla formazione di conglomerati bituminosi in cui la curva granulometrica degli aggregati sia caratterizzata da una certa discontinuità, necessaria per poter creare una porosità interna che sia sufficiente per accogliere le particelle di polverino. È questo il caso delle miscele di tipo “gap-graded” e “open-graded”, il cui uso negli strati di usura è stato ampiamente sperimentato. I prodotti che ricadono invece nella categoria dei “Terminal Blends” possono essere utilizzati nella preparazione di miscele chiuse a granulometria continua, del tutto simili a quelle di tipo ordinario.

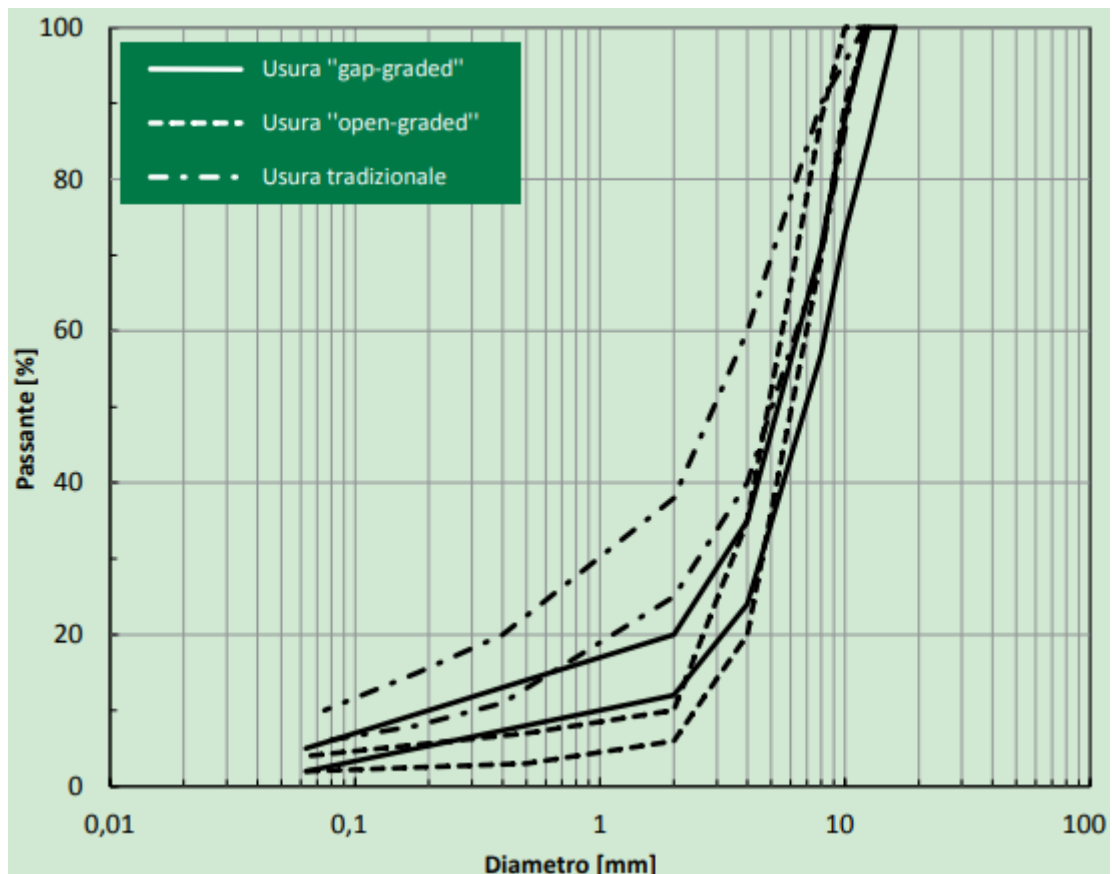


Figura 21 - Fusi granulometrici per conglomerati bituminosi per strati di usura



Figura 22 - Emissione di fumi con la metodologia Wet

3.2.1 Asphalt Rubber (leganti ad alta viscosità)

L'Asphalt Rubber (AR) “è un bitume modificato con una percentuale minima di polverino di gomma di pneumatico riciclata pari al 15% sul peso totale del legante, incorporata nel legante ad una temperatura maggiore di 177°C ed in maniera tale da reagire per un tempo sufficientemente lungo da permettere il rigonfiamento delle particelle di gomma” (norma ASTM D 8 [N1]). Oggi tale legante viene largamente utilizzato nel mondo e continuamente perfezionato perché tale tecnica offre una soluzione vantaggiosa del punto di vista ecologico e prestazionale, rispetto ai bitumi convenzionali. Le prove convenzionali e prestazionali effettuate sinora sull'Asphalt Rubber (AR) hanno evidenziato i seguenti vantaggi:

- Riduzione del fenomeno di fessurazione;
- Aumento della resistenza all'ormaiamento;

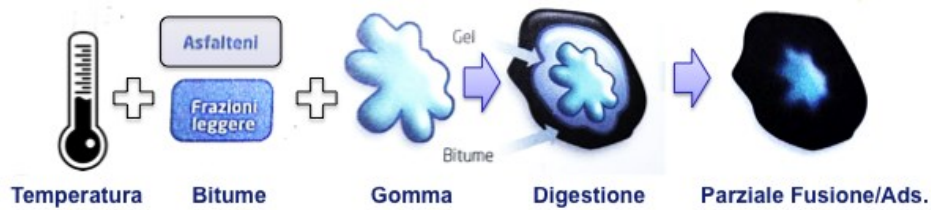
- Eccellenti proprietà acustiche in termine di generazione/assorbimento del rumore;
- Migliore viscosità e proprietà visco-elastiche del bitume;
- Elevati livelli di aderenza e regolarità superficiale;
- Riduzione della suscettibilità termica del bitume alla temperatura.

Per questi benefici l'AR viene utilizzato come valida alternativa ai bitumi modificati con polimeri SBS, inoltre è stato utilizzato in diversi Paesi del mondo per la realizzazione di conglomerati aperti o semiaperti.

3.2.1.1 Interazione gomma – bitume

L'interazione gomma – bitume in precise condizioni di temperatura e in un certo lasso di tempo genera una reazione chimico – fisica chiamata “digestione”. La presenza dell'elevata temperatura, degli oli aromatici e delle resine del bitume permettono il rigonfiamento delle particelle di gomma, che arrivano a duplicare il loro volume. Il legante così additivato da grumoso diviene omogeneo e fluido generando un gel bitume-gomma. La fase di gonfiaggio è accompagnata da un forte di aumento di viscosità del legante che raggiunge un valore massimo per poi successivamente ridursi per effetto della devulcanizzazione della gomma. Al termine della digestione la viscosità si è stabilizzata ed è superiore a quella dei bitumini convenzionali, perciò, per migliorare la lavorabilità, è necessario l'utilizzo di additivi fluidificanti. Diverse variabili possono influire sul successo della reazione:

- Le dimensioni e la quantità della gomma
- La temperatura che varia tra 180 – 220°C;
- La natura chimica del bitume (oli aromatici e resine);
- La modalità di miscelazione;



3.2.1.2 Processo produttivo

Il processo produttivo dell'Asphalt Rubber avviene all'interno di un impianto specializzato, miscelando il bitume con il polverino di gomma a temperature superiori ai 185° per un tempo minimo di 45 secondi per permettere il rigonfiamento della gomma e la digestione del bitume. Gli impianti di produzione del conglomerato bituminoso possono essere di tipo continuo o discontinuo in base alla presenza o meno della torre di miscelazione; i più utilizzati sono quelli discontinui. L'impianto è caratterizzato da un'unità che combina e miscela il bitume vergine con il polverino. Un computer centrale regola i dosaggi, l'intensità di agitazione e la temperatura. L'impianto può essere dotato di una cisterna per lo stoccaggio del legante modificato. All'interno della cisterna è mantenuta, grazie ad un sistema di riscaldamento, una temperatura tra i 163 – 191°C. Inoltre la cisterna è munita di un sistema di miscelazione che mantiene uniforme la miscela di bitume e polverino. È importante impostare una velocità adeguata alla reazione e controllare la viscosità del legante, aggiustandola con aumento di bitume o polverino, fino a quella desiderata cioè compresa nel range specificato dalla normativa ASTM D6114. Le fasi di produzione e messa in opera sono:

- Stoccaggio di polverino di gomma in sacchi speciali;



- Trasporto del materiale in un impianto di Asphalt Rubber mobile;



- Il polverino viene riversato nella tramoggia;



- Miscelazione, nel mixer ad elevata energia, di gomma, bitume vergine, oli aggiuntivi;



- Pompaggio del nuovo bitume nelle cisterne, dove è lasciato reagire per 45 minuti ad elevate temperature;



- Test della viscosità, per verificare l'acquisizione delle nuove proprietà del prodotto;



- Pompaggio del legante modificato nell'impianto di produzione del conglomerato bituminoso.



3.2.1.3 Vantaggi dell'Asphalt Rubber

Numerosi sono risultati i vantaggi offerti dai conglomerati bituminosi realizzati con Asphalt Rubber (leganti ad alta viscosità) rispetto ai conglomerati tradizionali con bitume non modificato:

- Maggiore resistenza alla fessurazione;
- Maggiore resistenza alla deformazione permanente;
- Riduzione degli spessori degli strati della pavimentazione;
- Riduzione dei costi di manutenzione;
- Maggiore adesione pneumatico – pavimentazione;
- Diminuzione della rumorosità;
- Riciclo grandi quantità di pneumatici.

3.2.2 Terminal Blends (leganti a bassa viscosità)

I Terminal Blends sono dei bitumi modificati con polverino molto fine (passante al setaccio 0,3mm) e con un dosaggio di gomma inferiore al 10%

del peso del legante totale. Le miscele bituminose contenenti “terminal blends” sono caratterizzate da una distribuzione granulometrica continua degli aggregati e rientrano nella categoria dei conglomerati bituminosi di tipo “chiuso” (con vuoti residui dell’ordine del 4%). Il comportamento meccanico di queste miscele è diverso da quello delle miscele tradizionali in relazione alla quantità e alle caratteristiche del polverino di gomma aggiunto. In particolare, si rileva una maggiore risposta elastica sotto carico, con conseguente miglioramento della resistenza all’accumulo di deformazioni permanenti ed a fatica. Per quanto riguarda la produzione, la messa in opera e il controllo si può fare riferimento alle procedure già conosciute per le miscele chiuse di tipo tradizionale, tenendo unicamente conto delle più elevate temperature richieste nelle fasi di miscelazione e compattazione. Tali conglomerati bituminosi possono essere impiegati nella costruzione e manutenzione delle pavimentazioni stradali in affiancamento o in sostituzione di quelli di tipo ordinario. Le prestazioni rilevate sul campo hanno evidenziato una riduzione, rispetto al caso delle miscele di tipo tradizionale, dei fenomeni di fessurazione superficiale e di ormaimento. Il costo aggiuntivo derivante dal processo di modifica del legante è compensato dai minori costi di manutenzione nel corso della vita utile delle pavimentazioni.

3.3 TECNOLOGIA “DRY”

Nel caso della tecnologia "dry", il polverino da PFU viene aggiunto presso l'impianto di produzione del conglomerato bituminoso come componente addizionale della miscela. Non essendo prevista alcuna miscelazione preventiva con il bitume, vengono impiegati opportuni dosatori che introducono il polverino direttamente nella camera di miscelazione, avendo cura di indurre una dispersione sufficientemente omogenea all'interno della massa degli aggregati. Il polverino viene solitamente impiegato con dosaggi compresi tra l'1 ed il 3% rispetto al peso complessivo degli aggregati, avendo cura di verificare che la sua distribuzione granulometrica, espressa in termini volumetrici per tenere conto della differente densità delle due tipologie di particelle, sia compatibile con quella della frazione lapidea. Sulla base di quanto riportato in letteratura, possono essere impiegati polverini di differente pezzatura, compresi tra quelli a grana grossa (passanti allo staccio da 6 mm e trattenuti allo staccio da 2,36 mm) e quelli denominati "ultra fini" (passanti allo staccio da 0,3 mm). A seconda della loro dimensione, le particelle di polverino forniscono quindi un contributo al riempimento dei vuoti oppure conferiscono allo scheletro litico particolari caratteristiche elastiche. Gli studi documentati in letteratura indicano che con la tecnologia "dry" possono essere prodotte miscele chiuse, semichiusate ("gap graded") e semi-aperte ("open-graded"). La percentuale di legante da impiegare deve essere definita tenendo conto del fatto che il polverino tende ad assorbire, anche durante le fasi di trasporto e messa in opera della miscela, una quota parte della frazione aromatica del bitume impiegato. Nel caso delle miscele chiuse, a granulometria continua, si sono spesso riscontrati fenomeni di sgranamento superficiale proprio a causa dei su citati fenomeni di assorbimento. Per tali miscele le prestazioni migliori, comunque prossime a quelle dei conglomerati bituminosi di tipo ordinario, sono state ottenute impiegando polverini di tipo "ultrafine". Malgrado la tecnologia Dry sia stata sperimentata già a partire dagli anni '70, i risultati contrastanti ottenuti nelle applicazioni di campo hanno di fatto limitato il suo sviluppo e la sua diffusione. In molti casi, in presenza di polverino a grana grossa (con dimensioni superiori a 4,75mm) si sono verificati rilevanti dissesti nella forma di sgranamenti e fessurazioni.



Figura 23 - Problematiche del metodo Dry

3.3.1 Tecnologia “Dry - Italia”

In Italia l'impiego del polverino da PFU, come agente modificante del bitume, è limitato a poche applicazioni sperimentali per la grande diffusione del bitume modificato con polimeri che garantisce prestazioni superiori a costi simili e talvolta anche inferiori. L'unico motivo che spinge verso i conglomerati bituminosi con polverino da PFU, oltre ai benefici ambientali, è la riduzione del rumore da rotolamento. Difatti, l'esigenza di abbattere il rumore e la possibilità di evitare l'installazione di barriere antirumore hanno portato alla realizzazione di tappeti di usura prevalentemente del tipo "open-graded" con la tecnologia “Wet”. Con gli stessi obiettivi, a partire dal 2015, è iniziata a diffondersi anche la metodologia “dry” associata al bitume modificato con polimeri ad alta lavorabilità. Vengono in questo modo messe insieme tre tecnologie innovative per ottenere una pavimentazione di grande pregio. Il bitume modificato con polimeri di tipo hard che garantisce elevate prestazioni meccaniche, l'alta lavorabilità (tecnica del warm mix asphalt) che consente di adottare temperature di miscelazione e stesa inferiori eliminando i fumi particolarmente fastidiosi per il personale addetto alla stesa, e l'aggiunta, in fase di miscelazione, del polverino da PFU

“ultrafine” (0,2-0,6 mm) che apporta una sensibile riduzione del rumore di rotolamento. Questa tecnologia innovativa è stata seguita per il risanamento della SS 38 nella tratta Merano – Bolzano.



Figura 24 - Stesa del conglomerato senza emissione di fumi (tecnologia Dry)

4 ESECUZIONE DEI LAVORI E PROVE DI CONTROLLO

4.1 MIX DESIGN DELLE MISCELE

Prima dell'inizio dei lavori, come previsto dalle Norme Tecniche di Capitolato della provincia autonoma di Bolzano, l'impresa ha consegnato alla Direzione Lavori lo studio delle miscele eseguito dal laboratorio Nievelt. Nelle tabelle successive sono riportate le granulometrie, i dosaggi dei leganti, i quantitativi di calce e cemento per la stabilizzazione dello strato di fondazione, per i conglomerati base, binder e tappeto di usura.

➤ Mix design del tappeto di usura

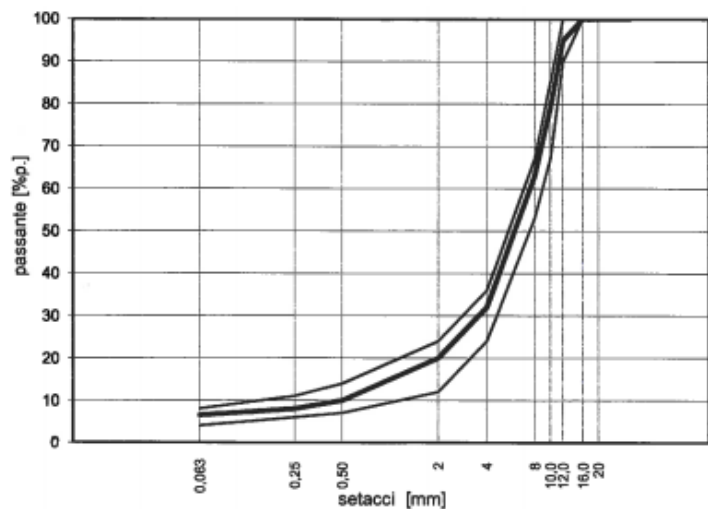
Percentuale di bitume riferito agli inerti in peso			
Tipo	A	B	C
Pmb 25/55-70	7,1	7,4	7,7

Composizione aggregati		
Tipo - frazione - origine	%p.	numero certificato CE
Sabbia lavata	8,5	-
sabbia frantumata	8,0	-
Porfido 5/8	32,0	-
Porfido 8/12	32,0	-
Porfido 12/16	15,0	-
		-
Filler	4,5	
Somma	100,0	

Additivi e/o fibre	
Tipo e descrizione	%p.
Polverino di gomma rubber	1,1 sul peso degli aggregati
-	-

Parametri della prova di accettazione				Composizione			Valore richiesto		Categoria richiesta	
				A	B	C	min	max	min	max
Legante riferito agli inerti	UNI EN 12697-1	%p.	7,1	7,4	7,7	7,0	8,5	-	-	
Legante riferito alle miscela	UNI EN 12697-1	%p.	6,6	6,9	7,1	-	-	-	-	
Densità asfalto	UNI EN 12697-5	kg/m ³	2.386	2.375	2.365	-	-	-	-	
Densità inerti	UNI EN 1097-6	kg/m ³	2.635	2.635	2.635	-	-	-	-	
Densità provino a giri 10	UNI EN 12697-6	kg/m ³	2.140	2.161	2.178	-	-	-	-	
Densità provino a giri 100	UNI EN 12697-6	kg/m ³	2.300	2.322	2.350	-	-	-	-	
Densità provino a giri 180	UNI EN 12697-6	kg/m ³	2.331	2.340	2.352	-	-	-	-	
Vuoti residui a giri 10	UNI EN 12697-8	%vol.	10,3	9,4	8,7	9	13	-	-	
Vuoti residui a giri 100	UNI EN 12697-8	%vol.	3,6	2,7	1,5	5	10	-	-	
Vuoti residui a giri 180	UNI EN 12697-8	%vol.	2,3	1,9	1,4	2	-	-	-	
Trattenuto al setaccio 2 mm	UNI EN 12697-2	%p.	80,0	80,0	80,0	-	-	-	-	
Passante al setaccio 2 mm	UNI EN 12697-2	%p.	20,0	20,0	20,0	-	-	-	-	
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 12697-2	%p.	6,5	6,5	6,5	-	-	-	-	
Rapporto filler / legante	-	-	1,0	0,9	0,9	-	-	-	-	
Sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	-	-	-	-	-	-	-	
Resistenza a traz. Ind. a giri 180	UNI EN 12697-23	N/mm ²	0,9	1,0	1,1	0,75	1,50	-	-	
Coeff di traz.indiretta a giri 180	UNI EN 12697-17	N/mm ³	76	71	72	50	-	-	-	
Drenaggio del legante	UNI EN 12697-18	%	-	-	-	-	-	-	-	

Setacci mm	Passante %p.			frazione	
	valore misurato	Limiti min	Limiti max	des.	%p.
16,00	100	100	100	aggregato grosso	80,0
12,00	95	90	100		
10,00	79	67	85		
8,00	63	53	67		
4,00	32	24	36		
2,00	20	12	24	aggregato fine	13,5
0,50	10	7	14		
0,25	8	6	11		
0,063	6,5	4	8	filler	6,5



➤ Mix design dello strato di binder

Percentuale di bitume riferito agli inerti in peso			
Tipo	A	B	C
bitume modificato	4,5	4,8	5,1

Composizione aggregati		
Tipo - frazione - origine	%p.	numero certificato CE
Sabbia lavata	9,6	
Sabbia frantumata	5,3	
sabbia porfirica	14,4	
Calcare 4/8	8,3	
Calcare 8/12	14,4	
Calcare 12/17	12,1	
Calcare 17/25	12,1	
RAP	20,0	
filler	3,8	
Somma	100,0	

Compattazione secondo la EN 12697-30 (Marshall) a 150°C ± 5°C a 75 colpi di maglio per faccia

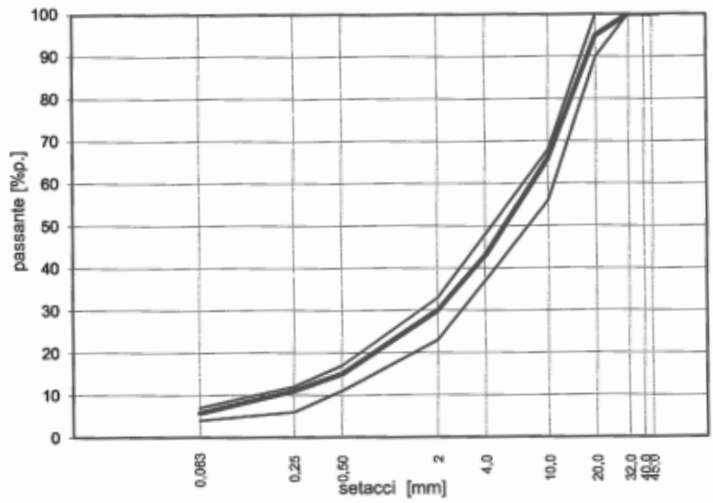
Additivi e/o fibre	
Tipo e descrizione	%p.
Rigenerante	0,3
-	-



Parametri della prova di accettazione			Composizione			Valore richiesto		Categoria richiesta	
			A	B	C	min	max	min	max
Legante riferito agli inerti	UNI EN 12697-1	%p.	4,5	4,8	5,1	4,3	5,7	-	-
Legante riferito alle miscela	UNI EN 12697-1	%p.	4,3	4,6	4,8	-	-	-	-
Densità asfalto	UNI EN 12697-5	kg/m³	2.565	2.553	2.541	-	-	-	-
Densità inerti	UNI EN 1097-6	kg/m³	2.752	2.752	2.752	-	-	-	-
Densità del provino Marshall	UNI EN 12697-6	kg/m³	2.411	2.423	2.440	-	-	-	-
Vuoti residui	UNI EN 12697-8	%vol.	6,0	5,1	4,0	3	6	-	-
Grado di riempimento	UNI EN 12697-8	%vol.	64	69	75	-	-	-	-
Vuoti intergranulari	UNI EN 12697-8	%vol.	17	16	16	-	-	-	-
Trattenuto al setaccio 2 mm	UNI EN 12697-2	%p.	70	70	70	-	-	-	-
Passante al setaccio 2 mm	UNI EN 12697-2	%p.	30	30	30	-	-	-	-
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 12697-2	%p.	5,8	5,8	5,8	-	-	-	-
Rapporto filler / legante	-	-	1,3	1,3	1,2	-	-	-	-
Stabilità Marshall a 60°C a colpi	75 UNI EN 12697-34	kN	12,0	12,5	12,8	10,0	-	-	-
Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	mm	3,0	3,2	3,6	-	-	-	-
Rigidezza Marshall	UNI EN 12697-34	kN/mm	4,0	3,9	3,6	3,0	4,5	-	-
Sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	-	-	-	-	-	-	-
Resistenza a trazione indiretta	UNI EN 12697-23	N/mm²	0,9	1,0	0,9	0,9	1,5	-	-
Perdita di particelle	UNI EN 12697-17	%	-	-	-	-	-	-	-
Drenaggio del legante	UNI EN 12697-18	%	-	-	-	-	-	-	-
Permeabilità verticale	UNI EN 12697-19	%	-	-	-	-	-	-	-

Curva granulometrica

Setacci mm	Passante %p.			frazione	
	valore misurato	Limiti min	Limiti max	des.	%p.
				aggregato grosso	70,0
32,00	100	100	100	aggregato fine	24,2
20,00	95	90	100		
10,00	66	56	68		
4,00	43	37	48		
2,00	30	23	33		
0,50	15	11	17	filler	5,8
0,25	11	6	12		
0,063	5,8	4	7		



➤ Mix design per lo strato di base

Percentuale di bitume riferito agli inerti in peso			
Tipo	A	B	C
Bitume modificato	4,3	4,6	4,9

Composizione aggregati			
Tipo - frazione - origine	%p.	numero certificato CE	
Sabbia lavata	6,5		
Sabbia frantumata	3,5		
sabbia porfirica	11,8		
Calcare 4/8	6,0		
Calcare 8/12	7,0		
Calcare 12/17	8,0		
Calcare 17/25	13,0		
Calcare 17/35	10,0		
RAP	30,0		
filler	4,2		
Somma	100,0		

Compattazione secondo la EN 12697-30 (Marshall) a 150°C ± 5°C a 75 colpi di maglio per faccia

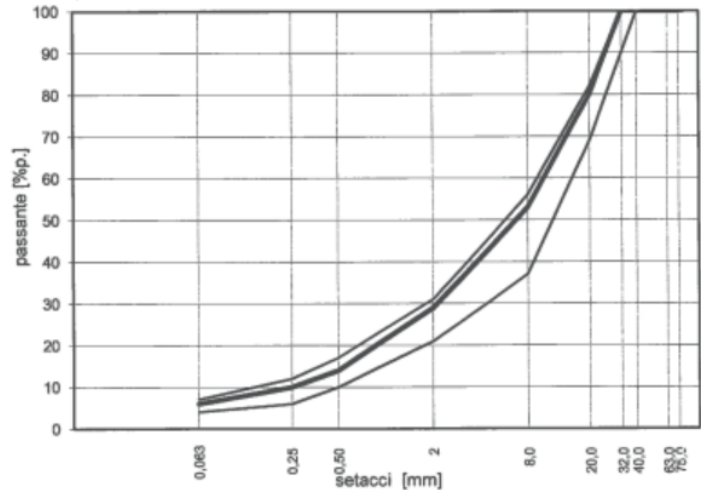
Additivi e/o fibre	
Tipo e descrizione	%p.
Rigenerante	0,3
-	-



Parametri della prova di accettazione			Composizione			Valore richiesto		Categoria richiesta	
			A	B	C	min	max	min	max
Legante riferito agli inerti	UNI EN 12697-1	%p.	4,3	4,6	4,9	4,3	5,3	-	-
Legante riferito alle miscela	UNI EN 12697-1	%p.	4,1	4,4	4,7	-	-	-	-
Densità asfalto	UNI EN 12697-5	kg/m³	2.568	2.556	2.544	-	-	-	-
Densità inerti	UNI EN 1097-6	kg/m³	2.746	2.746	2.746	-	-	-	-
Densità del provino Marshall	UNI EN 12697-6	kg/m³	2.416	2.435	2.455	-	-	-	-
Vuoti residui	UNI EN 12697-8	%vol.	5,9	4,7	3,5	3	6	-	-
Grado di riempimento	UNI EN 12697-8	%vol.	63	70	77	-	-	-	-
Vuoti intergranulari	UNI EN 12697-8	%vol.	16	16	15	-	-	-	-
Trattenuto al setaccio 2 mm	UNI EN 12697-2	%p.	71	71	71	-	-	-	-
Passante al setaccio 2 mm	UNI EN 12697-2	%p.	29	29	29	-	-	-	-
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 12697-2	%p.	6,0	6,0	6,0	-	-	-	-
Rapporto filler / legante	-	-	1,5	1,4	1,3	-	-	-	-
Stabilità Marshall a 60°C a colpi	75 UNI EN 12697-34	kN	12,0	12,5	12,9	10,0	-	-	-
Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	mm	3,6	3,6	3,6	-	-	-	-
Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN/mm	3,3	3,5	3,6	3,0	4,5	-	-
Sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	-	-	-	-	-	-	-
Resistenza a trazione indiretta	UNI EN 12697-23	N/mm²	0,9	1,1	1,0	0,9	1,5	-	-
Perdita di particelle	UNI EN 12697-17	%	-	-	-	-	-	-	-
Drenaggio del legante	UNI EN 12697-18	%	-	-	-	-	-	-	-
Permeabilità verticale	UNI EN 12697-19	%	-	-	-	-	-	-	-

Curva granulometrica

Setacci mm	Passante %p.			frazione	
	valore misurato	min	max	des.	%p.
				aggregato grosso	71,0
40,00	100	100	100		
32,00	100	90	100		
20,00	80	69	82		
8,00	53	37	56		
2,00	29	21	31	aggregato fine	23,0
0,50	14	10	17		
0,25	10	6	12		
0,063	6,0	4	7		



➤ Mix design per lo strato di fondazione

Sanierung MeBo Risanamento sottofondi MeBo		Mischung/Studio 3							
Zusammensetzung 1 m ³ Mischgut trocken Composizione 1m ³ di miscela secca									
							Korrektur Wasseraufnahme con correzione assorbimento d'acqua		
Herkunft Provenienza	Beschreibung - Zuschläge Descrizione dei materiali	Anteil Percentuale Inerti	Stoffraum Volume (V _i), dm ³	Rohichte Massa volumica apparente (ρ _{sa}) kg/dm ³	Masse(tr) Massa inerti asciutti kg	Gewichts- prozenzte Percentuale in peso %	Wasser korrektur correzione assorbimento d'acqua kg	Kernfeuchte Assorbimento acqua inerte %	Masse Wasser Massa d'acqua kg
		%	dm ³	kg/dm ³	kg	%	kg	%	kg
Mebo Rösche 3 Probe 7	Probe 4/campione 4	0,700	548,8	2,630	1443	62,5	1443	0,00	0,0
	Altasphalt- fresato < 20mm	0,300	235,2	2,378	559	24,2	559	0,00	0,0
0	0	0,000	0,0	2,747	0	0,0	0		0,0
0	0	0,000	0,0	0,995	0	0,0	0		0,0
0	0	0,000	0,0	0,000	0	0,0	0		0,0
0	0	0,000	0,0	0,000	0	0,0	0		0,0
Zwischensumme			784,0		2003	86,7			
	Wasser-acqua d'impasto		157,0	1	157	6,8	157,0		
Italcemento	CEM I ARS0 4,25		33,3	3	100	4,3	100,0		
Valli Zabban	Bitume Recval		0,0	1,30	0	0,0	0		
UNICALCE	Calciumhydroxid idrossido di calce		22,6	2,21	50	2,2	50,0		
Basf- Valli Zabban	Idrofobizzante		0,0	1,00	0	0,0	0,0		0
			0,0	1,12	0,0	0,0	0,0		
	Luftporen/vuoti		3,0						
		100	1000,0		2309,8	100,0	2309,8		0,0

4.2 ESECUZIONE LAVORI

I lavori sono stati eseguiti nei mesi di aprile e maggio 2021, come previsto dal progetto (figura 25), l'intervento è iniziato con la demolizione della pavimentazione esistente mediante fresatura a freddo degli strati in conglomerato bituminoso. La fresatura della pavimentazione è avvenuta in modo separato per ogni strato (base, binder, usura) per poter recuperare in modo ottimale il fresato. Successivamente è stata eseguita la stabilizzazione a calce e cemento dello strato di fondazione esistente, tramite una macchina stabilizzatrice (figura 26, 27, 28, 29). I lavori sono proseguiti con la compattazione e la profilatura dell'ultimo stato non legato della pavimentazione, attraverso dei rulli e di una livellatrice (figura 30, 31). A questo punto si è proceduto con la stesa dell'emulsione sovrastabilizzata e con la stesa della graniglia sovrastante, per proteggerla durante la maturazione (mano di attacco). Infine sono stati stesi gli strati del pacchetto legato della pavimentazione, con l'ultimo strato di usura realizzato con polverino di gomma attraverso il metodo Dry (figura 32, 33, 34, 35).

LAVORI/ARBEITEN	MATERIALE	MEZZI/MASCHINEN	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	ENERGI
			10/05/2021	11/05/2021	12/05/2021	13/05/2021	14/05/2021
FRESATURA ASFALTO		Fresa 1 . Spazzatrice 1 Fresa 2 . Spazzatrice 2					
PREPARAZIONE SOTTOFONDO		Escavatori, demollitori, pale, spazzatrici					
TRATTAMENTO SOTTOFONDO		Ecovite					
BITUMATURA RAMPE		Squadra 1. Squadra 2					
			17/05/2021	18/05/2021	19/05/2021	20/05/2021	21/05/2021
POSA BASE IN CORSIA		Squadra 1. Squadra 2					
POSA BINDER IN CORSIA		Squadra 1. Squadra 2					
POSA RUBBER IN CORSIA		Squadra 1. Squadra 2					
POSA SPIRE		Famas System					
POSA SEGNALETICA		Subappalto					

Figura 25 - Programma dei lavori

➤ **Stabilizzazione dello strato di sottofondo**



Figura 26 - Spandimento del cemento



Figura 27 - Spandimento della calce



Figura 28 - macchina stabilizzatrice in azione



Figura 29 - rotore di miscelazione con denti

➤ **Compattazione e profilatura**



Figura 30 - Passaggio di rullo per compattazione



Figura 31 - Livellatrice in azione

➤ **Stesa degli strati in conglomerato bituminoso**



Figura 32 - Stesa dello strato di base



Figura 33 - Stesa strato di binder



Figura 34 - Stesa strato di usura con polverino di gomma con 2 finitrici affiancate



Figura 35 - Stesa dello strato di usura (no emissioni)

4.3 PROVE DI CONTROLLO

Durante le operazioni di stesa dei conglomerati bituminosi di base binder e usura sono stati prelevati dei campioni di miscela sfusa per l'esecuzione delle prove per il controllo della conformità dei materiali forniti; al termine dei lavori sono state prelevate delle carote di conglomerati bituminoso per il controllo della posa in opera. Nelle successive tabelle sono riportate le analisi granulometriche e i risultati delle prove eseguite sulle carote.

➤ **Analisi granulometrica**

L'analisi granulometrica è un insieme di operazioni dalle quali si ottiene la curva granulometrica.

Per la precisione, le classi granulometriche più grandi sono state setacciate per via secca, mentre la sabbia (0/6), come è raccomandabile, per via umida. Per ottenere la curva si prende un campione di materiale ottenuto per quartatura, ovvero una selezione di un campione rappresentativo dell'intero lotto di materiale lapideo, che poi viene posto in forno a 105 °C per il tempo necessario per eliminare l'acqua interstiziale e per raggiungere un peso costante. Per quanto riguarda l'analisi granulometrica per via secca, si pesa il materiale prima della prova e poi si dispongono i setacci uno sopra l'altro, con retinatura di diametro via via minore e si versa sulla sommità il campione di aggregato da analizzare (Figura 36 e 37).

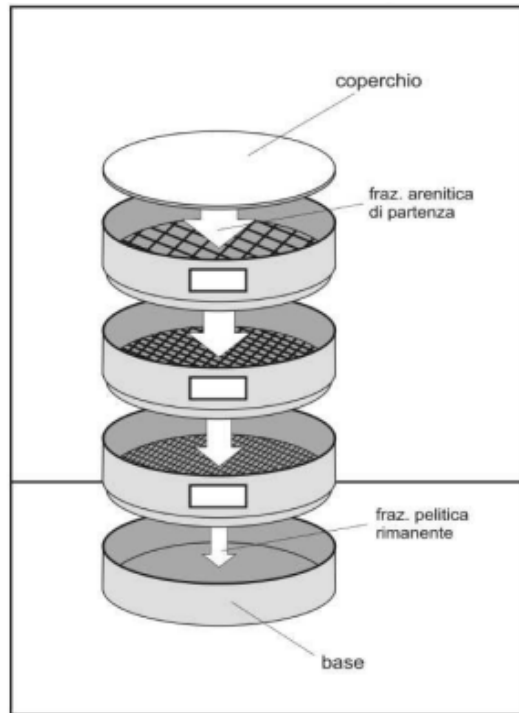


Figura 36 – Esempio batteria di setacci



Figura 37 - Batteria di setacci utilizzati

Il vibrovaglio scuote vigorosamente attraverso un movimento “rotatorio-sussultorio” la pila di setacci per 15 minuti per facilitare il passaggio degli aggregati: i materiali più grossolani si fermano più in alto e via via i più fini finiscono più in basso.



Figura 38 - Batteria di setacci nel vibrovaglio

Terminata l'operazione, si pesa il materiale raccolto in ciascun setaccio, a cominciare da quello più fino, misurando così il trattenuto parziale che poi viene espresso in percentuale, utilizzando la seguente formula, essendo N il numero totale dei setacci:

$$T_i = 100 \cdot \frac{P_i}{\sum_{i=1}^N P_i}$$

Dove:

T_i è il trattenuto parziale in percentuale;

P_i è il passante all'i-esimo setaccio:

Successivamente, vengono calcolati i trattenuti cumulativi nei vari setacci relativi a tutta la quantità di materiale trattenuta nel setaccio i-esimo ed in quelli sovrastanti ($j = 1, 2, \dots, i$), espressi in percentuale rispetto al peso totale del campione.

$$TC_i = 100 \cdot \frac{\sum_{j=1}^i P_j}{\sum_{i=1}^i P_i}$$

Ad esempio, il trattenuto cumulativo al terzo setaccio (dall'alto verso il basso) rappresenta la somma delle quantità (in peso) di aggregato trattenuto nel primo, nel secondo e nel terzo setaccio diviso il peso totale del campione sottoposto a vagliatura.

Vengono poi calcolati i passanti cumulativi nei vari setacci calcolati come complemento a 100 dei trattenuti cumulativi, espressi in percentuale rispetto al peso totale del campione:

$$PC_i = 100 - TC_i$$

L'analisi granulometrica per via umida prevede che un quantitativo preciso di materiale, posto in un setaccio con maglie di dimensioni pari a 0,063 mm, venga lavato sotto l'acqua corrente, con l'aiuto di una mano, per il tempo necessario perché avvenga il completo distacco della frazione più fine (filler) e la completa disgregazione dei grumi. Al termine di questa operazione (quando l'acqua che passa attraverso il setaccio ritorna ad essere limpida), il residuo viene posto in forno ad asciugare alla temperatura di 105 °C per poi effettuare una setacciatura "tradizionale" come è stata descritta qui sopra.

Il risultato dell'analisi granulometrica è reso visibile attraverso la creazione di grafici chiamati curve granulometriche in cui sull'asse delle ascisse viene

riportato l'apertura del setaccio che ha trattenuto il materiale in scala logaritmica, mentre sulle ordinate la percentuale del materiale trattenuto dal rispettivo setaccio.

➤ **Proprietà volumetriche**

In questo paragrafo sono elencati i protocolli di prova, utilizzati nella presente sperimentazione, per il calcolo delle proprietà volumetriche delle miscele prodotte in questa fase.

La determinazione dei vuoti di un provino di conglomerato bituminoso è stata effettuata attraverso Metodo dry:

Per la determinazione dei vuoti attraverso il “metodo dry” il provino viene prima pesato sulla bilancia e poi in acqua tramite una bilancia idrostatica (Figura 3.15), quindi attraverso la seguente formula è possibile determinare il valore dei vuoti:

$$V(\%) = \frac{\rho_{max} - \rho_{dry}}{\rho_{max}} \times 100$$

Dove:

- $\rho_{max} =$ massa volumica massima della miscela ($\frac{g}{cm^3}$);

$$\rho_m = \frac{100}{\sum(p_i/\rho_i) + (p_b/\rho_b)}$$

- p_i : percentuale dell'aggregato i -esimo usato nella miscela in m/m;
- ρ_i : massa volumica apparente dell'aggregato i -esimo in kg/m^3 ;
- p_b : percentuale di legante nella miscela in m/m;
- ρ_b : massa volumica del legante a 25 °C in kg/m^3 .

- $\rho_{dry} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - M_2}$;

Dove:

- $M_1 =$ massa in aria del provino;

- $M_2 =$ massa del provino in acqua;
- $\rho_w =$ è la densità dell'acqua alla temperatura di prova ($\frac{Mg}{m^3}$)
-



Figura 39 - Bilancia per peso in aria



Figura 40 - Bilancia per peso in acqua

➤ **Prova di trazione indiretta**

La prova di trazione indiretta, nota anche come prova alla Brasiliana, consiste nel comprimere, fino a rottura, un provino lungo un piano diametrale verticale. La rottura nel materiale avviene per trazione in

direzione perpendicolare a quella di applicazione del carico (effetto Poisson).

La prova di resistenza a trazione indiretta può essere eseguita ad una temperatura compresa tra i 5 ed i 25°C. In questa indagine, la prova è effettuata alla temperatura di 25°C. Quindi, prima della realizzazione della prova i provini vengono tenuti per almeno 3 ore in camera climatica a 25°C. L'apparecchiatura utilizzata per l'esecuzione di tale prova è costituita da un sistema di carico, formato da due piatti paralleli infinitamente rigidi: la testa di carico inferiore è fissata ad una base munita di due guide verticali lungo le quali scorre, senza apprezzabile attrito mediante due manicotti, la testa di carico superiore. Il carico viene trasferito al provino tramite due listelli, caratterizzati dalle seguenti dimensioni:

- Larghezza: 15 ± 2 mm;
- Spessore: 4 ± 1 mm;
- Lunghezza \geq della lunghezza della linea di contatto del provino.

Il provino viene collocato, ben centrato, tra i piatti della pressa, in maniera tale che il suo asse sia orizzontale, che l'asse del listello di carico superiore sia perfettamente parallelo a quello del listello inferiore e che entrambi siano contenuti nel piano verticale passante per l'asse del provino.

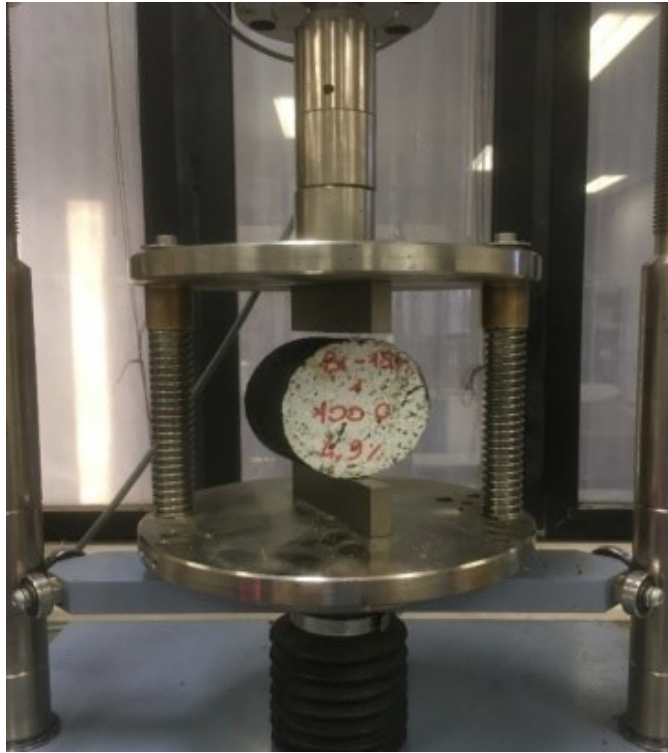


Figura 41 – Posizionamento del provino tra i piatti della pressa

Durante la prova la testa di carico inferiore viene fatta avanzare ad una velocità costante di 50 ± 2 mm/min. Il sistema di controllo, mediante due comparatori, permette di misurare sia la deformazione verticale subita dal provino durante l'applicazione del carico, che il carico stesso. La prova, in accordo con la norma UNI EN 12697-23, viene svolta in controllo di deformazione.

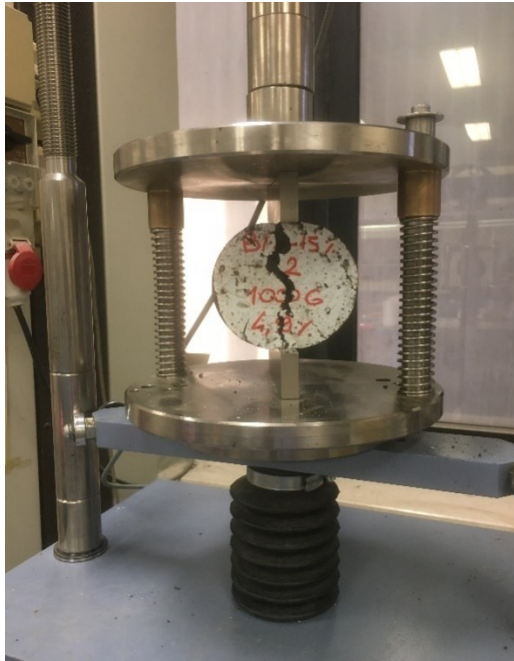


Figura 42 - Provino rotto dopo la prova

La macchina di prova può essere guidata mediante un pannello di controllo oppure in remoto con un computer tramite il software UTMII. Nel controllo in remoto, si impostano parametri di prova (i principali sono diametro e altezza del provino, velocità di avanzamento e carico di fine prova) e si ottengono in output oltre alla curva carico-corsa (carico-deformazione verticale) visualizzabile già durante l'esecuzione del test, tutti i punti che formano tale curva, il carico di rottura a compressione e la deformazione a compressione. Si può chiedere al software di fornire già calcolati anche la resistenza a trazione indiretta ITS e il coefficiente di trazione indiretta ITC. Nelle figure seguenti si possono vedere i passaggi principali eseguiti con il software UTM II.

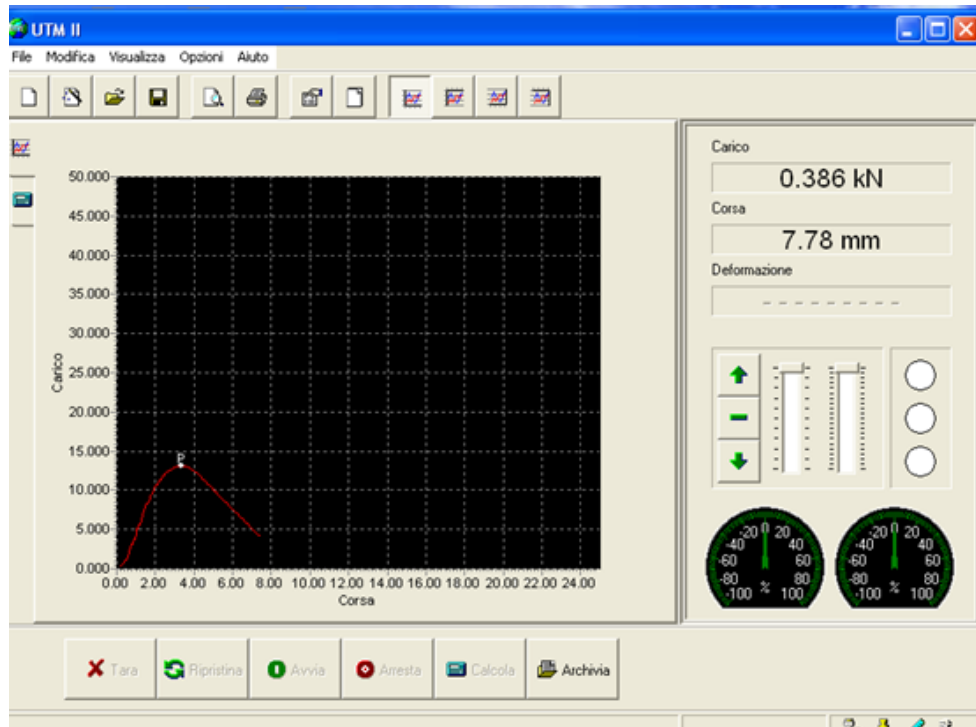


Figura 43 - Curva sforzo – deformazione

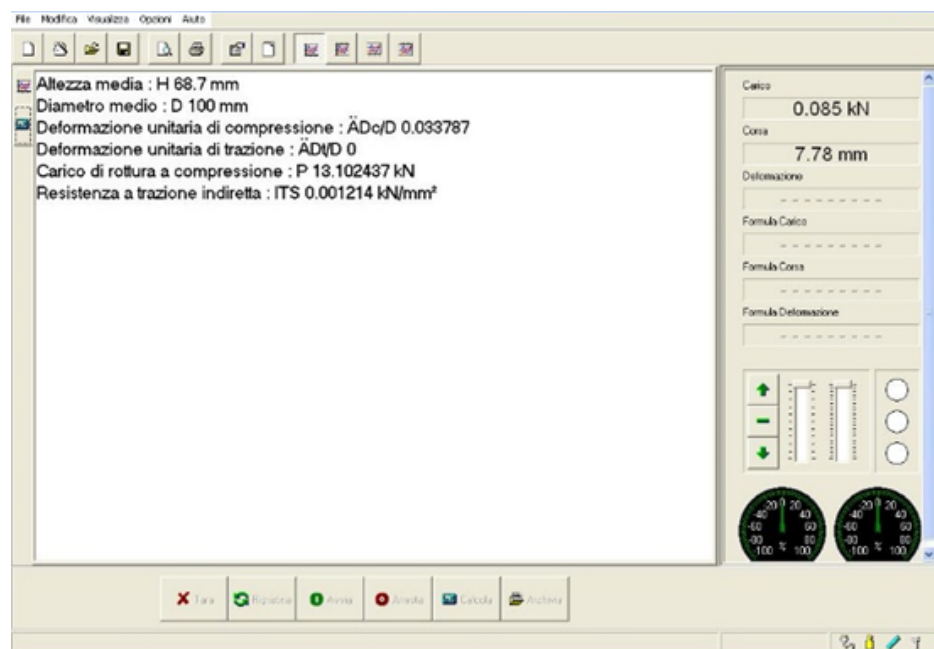


Figura 44 - Rielaborazione dei risultati

La resistenza a trazione indiretta ITS (Indirect Tensile Strength), cioè la massima tensione di trazione applicata al provino, viene calcolata a partire dal carico di picco e dalle dimensioni del provino, mediante la seguente espressione:

$$ITS = \frac{2 \cdot P_{\max}}{\pi \cdot t \cdot D}$$

Dove:

- P_{\max} è il carico massimo espresso in N;
- t è l'altezza del provino espressa in mm;
- D è il diametro del provino in mm.

➤ Sensibilità all'acqua

La norma UNI EN 12697-12 descrive tre metodi per determinare l'effetto della saturazione e del condizionamento accelerato in acqua.

Questi metodi possono essere utilizzati per valutare l'effetto dell'umidità con o senza l'utilizzo di attivanti di adesione.

Il metodo utilizzato nella sperimentazione è il Metodo A, il quale utilizza la resistenza a trazione indiretta di un provino cilindrico di conglomerante bituminoso; si presenta in seguito la procedura.

I provini cilindrici sono divisi in due serie, ognuna mantenuta ad opportune condizioni. La prima viene mantenuta in un ambiente asciutto in camera climatica, mentre la seconda viene immersa in acqua ad un elevata temperatura di condizionamento.



Figura 45 - Serie di provini durante il condizionamento in acqua

In seguito al condizionamento viene determinata la resistenza a trazione indiretta di entrambe le serie di provini in accordo con la norma EN 12697-23 alla temperatura di prova stabilita. Il rapporto tra la resistenza a trazione indiretta della serie di provini tenuti in acqua e quella dei provini tenuti in camera climatica è espressa in percentuale.

Le apparecchiature e gli strumenti di prova utilizzati sono:

- Bagno d'acqua controllato termostaticamente che possa essere usato per mantenere la temperatura di condizionamento dei provini a $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ e $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$. Il bagno deve avere un letto forato alla sommità dei sostegni sul fondo del bagno. Il bagno deve essere sufficientemente grande perché la parte superiore dei provini si trovi 20 mm al di sotto della superficie dell'acqua;
- Apparecchiatura per la prova di trazione indiretta;
- Camera climatica.

La seconda serie di provini, costituita da 8 provini compattati a 50 giri, viene collocata nella vasca descritta precedentemente per effettuare un bagno d'acqua a $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ per 72 ore.

Una volta che sono trascorsi 3 giorni viene cambiata la temperatura del condizionamento dell'acqua da 40 a 25 °C, i provini vengono dunque mantenuti in tali condizioni per ulteriori 3 ore.

Contemporaneamente la prima serie di 8 provini viene posta in camera climatica a 25 °C per 3 ore.

Trascorse le 3 ore si asciuga la superficie dei provini precedentemente immersi in acqua e si procede subito alla prova di resistenza a trazione indiretta per determinare ITSM.

Eseguita la medesima prova anche sulla seconda serie di provini, precedentemente in camera climatica, si calcola il rapporto:

$$ITSR = 100 \cdot \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

Dove :

- ITSR: è il rapporto di resistenza a trazione indiretta espresso in percentuale (%);
- ITSw è la media delle resistenze a trazione indiretta della serie “wet” espressa in KPa;
- ITSd è la media delle resistenze a trazione indiretta della serie “dry” espressa in KPa.

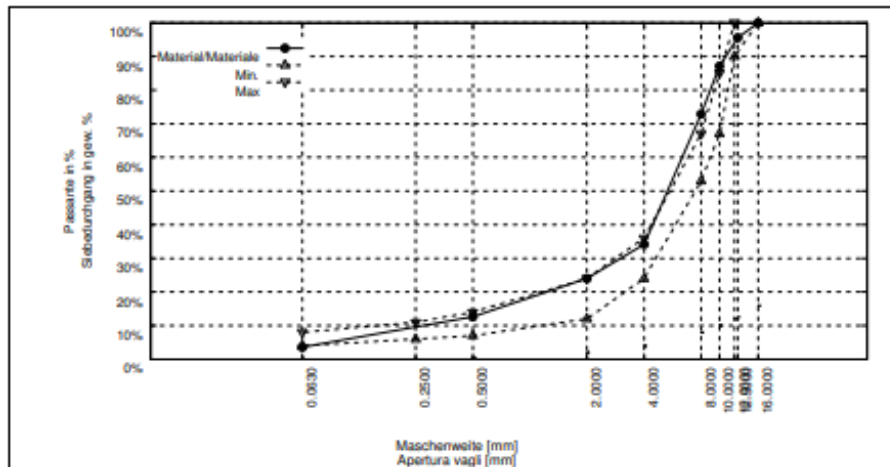
➤ **Tabella riepilogativa delle prove di carotaggio**

Nr. Nr.	Entnahmestelle Punto di prelievo	Kennzeichen Contrassegno	Entnahmedatum Data di prelievo	Belagstyp Tipo di strato	Materialtyp Tipo di materiale	Ø mm Ø mm
1	Sez. 25 corsia di marcia	1 - AR 12	20/05/2021	mit Gummigranulat DRY(I) AR12 - con polverino di gomma DRY (I) AR12	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
2	Sez. 25 corsia di marcia	1 - AC 20	20/05/2021	Binder AC20 modifiziert - Binder AC20 modificato	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
3	Sez. 25 corsia di marcia	1 - AC 32	20/05/2021	Tragschicht AC32 modifiziert - Base AC32 modificata	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
4	Stat. 1100 corsia di marcia	2 - AR 12	20/05/2021	mit Gummigranulat DRY(I) AR12 - con polverino di gomma DRY (I) AR12	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
5	Stat. 1100 corsia di marcia	2 - AC 20	20/05/2021	Binder AC20 modifiziert - Binder AC20 modificato	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
6	Stat. 1100 corsia di marcia	2 - AC 32	20/05/2021	Tragschicht AC32 modifiziert - Base AC32 modificata	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
7	Sez. 35 corsia di sorpasso	3 - AR 12	20/05/2021	mit Gummigranulat DRY(I) AR12 - con polverino di gomma DRY (I) AR12	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
8	Sez. 35 corsia di sorpasso	3 - AC 20	20/05/2021	Binder AC20 modifiziert - Binder AC20 modificato	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
9	Sez. 35 corsia di sorpasso	3 - AC 32	20/05/2021	Tragschicht AC32 modifiziert - Base AC32 modificata	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
10	Stat. 1300 corsia di sorpasso	4 - AR 12	20/05/2021	mit Gummigranulat DRY(I) AR12 - con polverino di gomma DRY (I) AR12	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
11	Stat. 1300 corsia di sorpasso	4 - AC 20	20/05/2021	Binder AC20 modifiziert - Binder AC20 modificato	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
12	Stat. 1300 corsia di sorpasso	4 - AC 32	20/05/2021	Tragschicht AC32 modifiziert - Base AC32 modificata	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
13	Uscita Vilpiano	5 - AC 12	20/05/2021	Verschleißschicht AC12 modifiziert - Tappeto AC12 modificato	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150
14	Entrata Vilpiano	6 - AC 12	20/05/2021	Verschleißschicht AC12 modifiziert - Tappeto AC12 modificato	Bohrkern aus bit. Mischgut - Carota di conglom. bituminoso	150

➤ Campione numero 1

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
16,000	0,0	100,00
12,500	41,3	95,55
10,000	78,4	87,10
8,000	131,9	72,88
4,000	359,4	34,13
2,000	93,7	24,03
0,500	105,9	12,61
0,063	83,5	3,61
0	33,5	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	927,6
Endgewicht Peso finale	927,4
Siebverlust Peso materiale perso	0,2

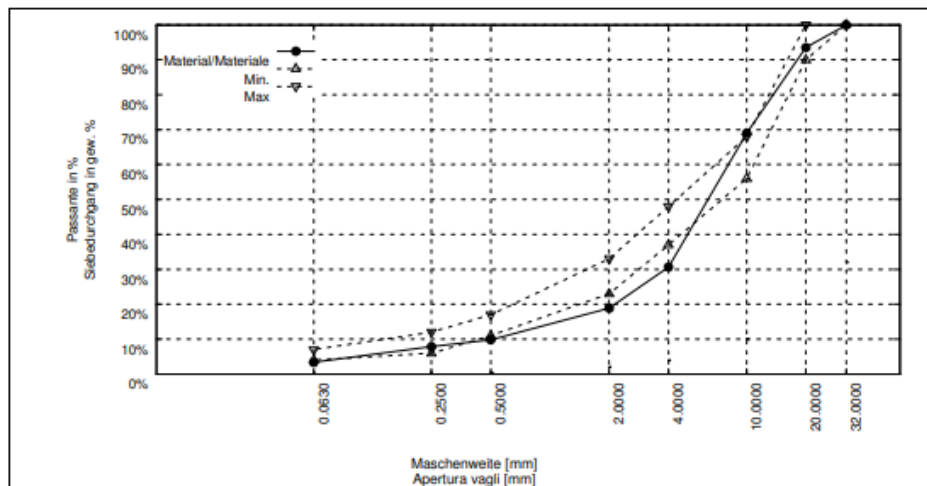


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	-----	g	==927,6==	-----	
Gewicht Mischgut Peso miscela	-----	g	==1.000,0==	-----	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==7,24==	von 7,0 bis 8,5 da 7,0 a 8,5	
Marshaldichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.158==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.580==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.312==	sh. T. Composition vedi t. compositio	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==6,66==	von 5 bis 10 da 5 a 10	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vib) Vuoti riempiti di bitume (Vib)	UNI EN 12697-8	%	-----	-----	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	-----	-----	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	-----	-----	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	-----	-----	
Steiheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	-----	-----	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	==100==	==100==	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	-----	-----	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==3,8== (B) ==3,9== (C) ==3,9== (D) ==4,0==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,48==	-----	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	==98,94==	==>90==	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==24,522==	==15,000==	Das Ergebnis ist gültig: siehe Anlage. Il risultato è valido: vedi allegato.

➤ **Campione numero 2**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
32.000	0,0	100,00
20.000	65,0	93,52
10.000	246,3	68,99
4.000	384,9	30,64
2.000	117,8	18,91
0.500	91,2	9,82
0,250	19,9	7,84
0,063	44,9	3,37
0	33,8	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	1.003,8
Endgewicht Peso finale	1.003,8
Siebverlust Peso materiale perso	0,0

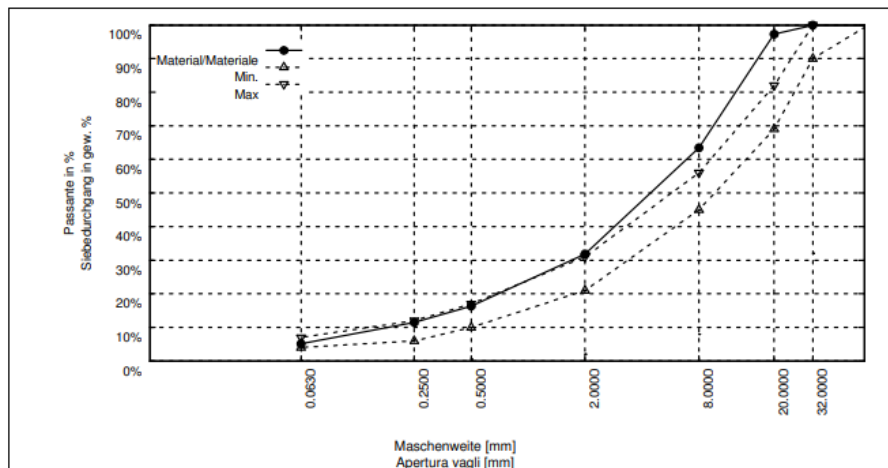


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	-----	g	==1.003,8==	-----	
Gewicht Mischgut Peso miscela	-----	g	==1.061,6==	-----	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==5,44==	von 4,3 bis 5,7 da 4,3 a 5,7	
Marshalldicke (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.250==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.662==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.455==	-----	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==8,37==	von 3 bis 7 (8) da 3 a 7 (8)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==58,32==	-----	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==20,08==	-----	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	-----	-----	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	-----	-----	
Stiffheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	-----	-----	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	-----	-----	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	-----	-----	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==7,1== (B) ==6,8== (C) ==6,7== (D) ==6,4==	sh. Progetto vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,52==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	-----	-----	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==26,799==	==12,000==	Das Ergebnis ist gültig: siehe Anlage. Il risultato è valido: vedi allegato.

➤ **Campione numero 3**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
63,000	0,0	100,00
32,000	0,0	100,00
20,000	26,3	97,35
8,000	337,0	63,44
2,000	313,9	31,85
0,500	153,9	16,36
0,250	48,8	11,45
0,063	62,9	5,12
0	50,9	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	993,7
Endgewicht Peso finale	993,7
Siebverlust Peso materiale perso	0,0

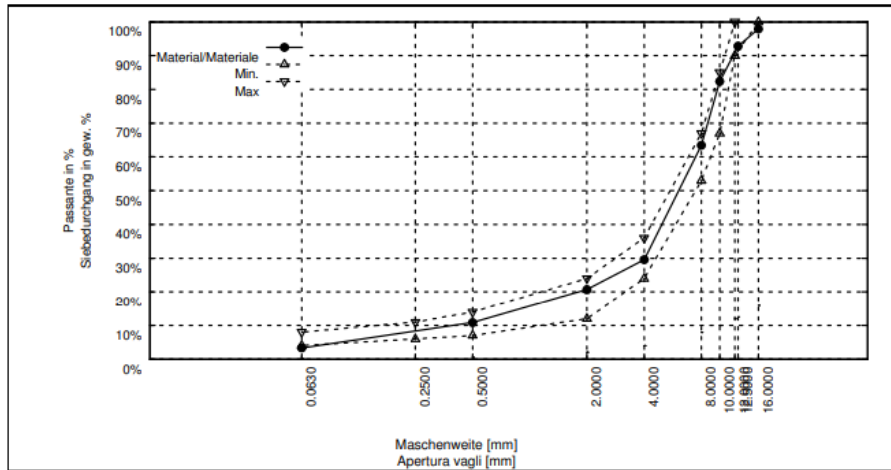


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==993,7==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.058,3==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==6,10==	von 4,3 bis 5,3 da 4,3 a 5,3	
Marshallichte (ρ sea) Densità Marshall (ρ sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.401==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (ρ a) Massa volumica dei granuli (ρ a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.679==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (ρ mc) Massa volumica della miscela (ρ mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.446==	=====	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==1,84==	von 3 bis 7 (8) da 3 a 7 (8)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==88,49==	=====	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==15,86==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Steifheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==13,0== (B) ==13,5== (C) ==14,5== (D) ==15,0==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,69==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	=====	=====	

➤ **Campione numero 4**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
16,000	19,6	97,88
12,500	47,0	92,81
10,000	96,6	82,38
8,000	175,2	63,46
4,000	313,6	29,60
2,000	82,6	20,69
0,500	91,1	10,85
0,063	69,6	3,34
0	30,9	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	926,2
Endgewicht Peso finale	926,0
Siebverlust Peso materiale perso	0,2

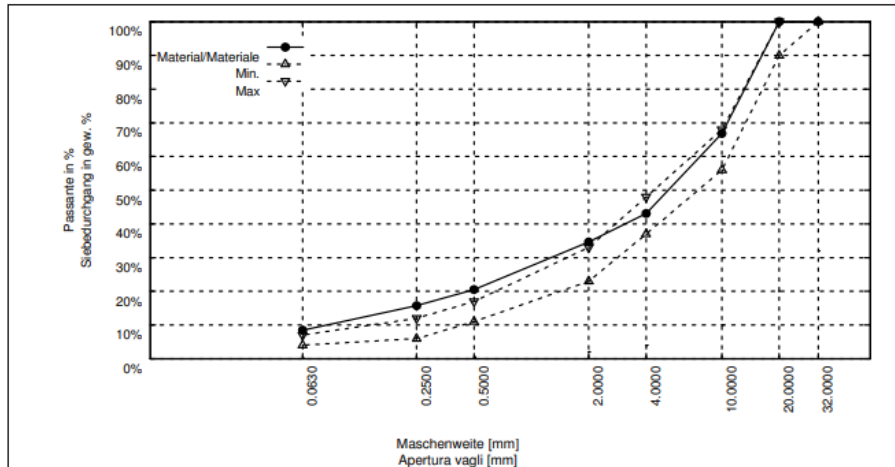


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore Limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==926,2==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.000,0==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==7,38==	von 7,0 bis 8,5 da 7,0 a 8,5	
Marshalldichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.156==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.576==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.316==	sh. T. Composition vedi t. compositio	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==7,27==	von 5 bis 10 da 5 a 10	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	=====	=====	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	=====	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Steifheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	==100==	==100==	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==3,7== (B) ==3,8== (C) ==3,9== (D) ==4,0==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,40==	=====	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	==>90==	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==24,688==	==15,000==	Das Ergebnis ist gültig; siehe Anlage. Il risultato è valido; vedi allegato.

➤ **Campione numero 5**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
32,000	0,0	100,00
20,000	0,0	100,00
10,000	324,2	66,88
4,000	232,7	43,11
2,000	83,1	34,62
0,500	138,2	20,50
0,250	46,3	15,77
0,063	71,4	8,48
0	83,0	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	978,9
Endgewicht Peso finale	978,8
Siebverlust Peso materiale perso	0,1

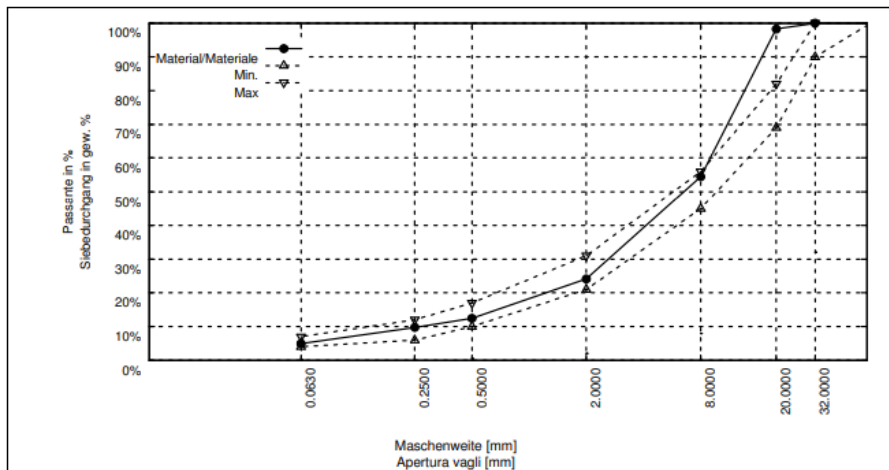


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==978,9==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.030,1==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==4,97==	von 4,3 bis 5,7 da 4,3 a 5,7	
Marshalldichte (ρ sea) Densità Marshall (ρ sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.396==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (ρ a) Massa volumica dei granuli (ρ a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.681==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (ρ mc) Massa volumica della miscela (ρ mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.487==	=====	
Hohlräumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==3,68==	von 3 bis 7 (B) da 3 a 7 (B)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==75,58==	=====	
Hohlräumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==15,08==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Stiftheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==6,8== (B) ==6,7== (C) ==6,7== (D) ==6,7==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,73==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==32,077==	==12,000==	Das Ergebnis ist gültig: siehe Anlage. Il risultato è valido: vedi allegato.

➤ **Campione numero 6**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
63,000	0,0	100,00
32,000	0,0	100,00
20,000	18,9	98,26
8,000	475,0	54,52
2,000	329,9	24,14
0,500	126,7	12,47
0,250	29,4	9,76
0,063	52,1	4,96
0	53,9	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	1.085,9
Endgewicht Peso finale	1.085,8
Siebverlust Peso materiale perso	0,1

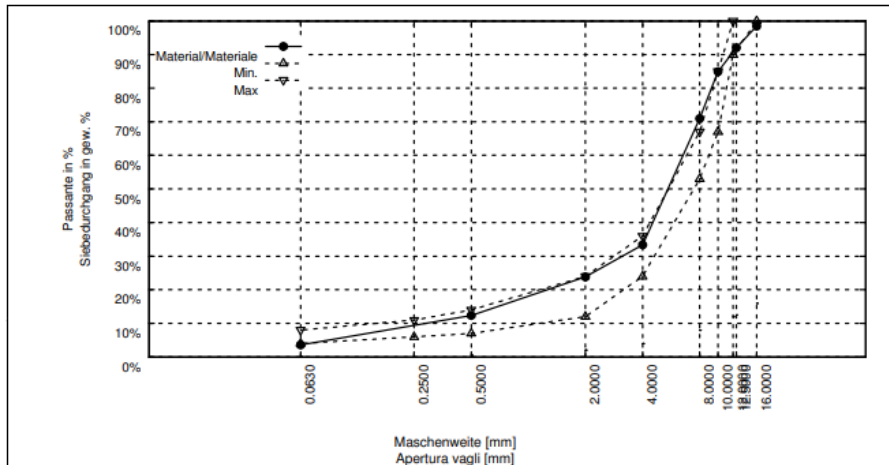


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==1.085,9==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.143,5==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==5,04==	von 4,3 bis 5,3 da 4,3 a 5,3	
Marshallichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.320==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.676==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.481==	=====	
Hohraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==6,40==	von 3 bis 7 (8) da 3 a 7 (8)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==63,30==	=====	
Hohraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==17,68==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Steifheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==12,5== (B) ==12,2== (C) ==12,3== (D) ==12,5==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,62==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	=====	=====	

➤ **Campione numero 7**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante [%]
[mm]	[g]	
16,000	14,0	98,49
12,500	59,4	92,09
10,000	66,4	84,93
8,000	129,5	70,97
4,000	349,0	33,36
2,000	88,3	23,84
0,500	106,8	12,33
0,063	81,2	3,58
0	33,2	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	927,8
Endgewicht Peso finale	927,6
Siebverlust Peso materiale perso	0,2

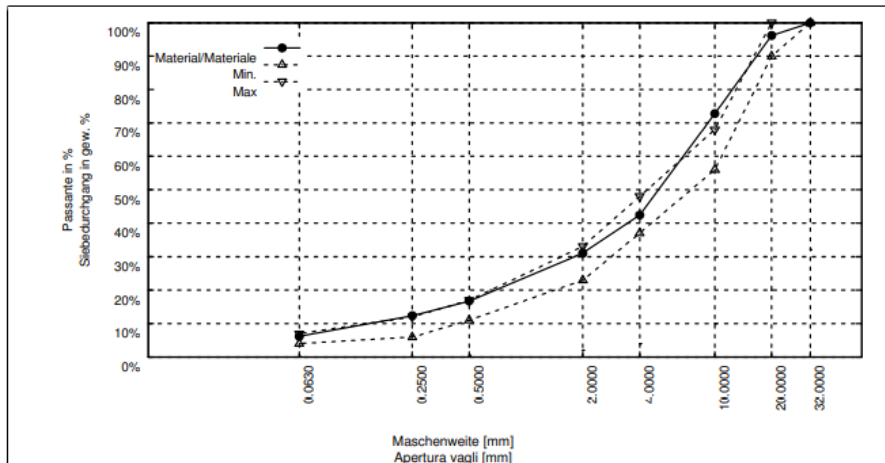


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==927,8==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.000,0==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==7,22==	von 7,0 bis 8,5 da 7,0 a 8,5	
Marshalldicke (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.170==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdicke Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.583==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdicke Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.312==	sh. T. Composition vedi t. compositio	
Hohraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==6,14==	von 5 bis 10 da 5 a 10	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	=====	=====	
Hohraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	=====	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Stiffheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	==100==	==100==	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==3,8== (B) ==3,8== (C) ==3,7== (D) ==3,6==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,58==	=====	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	==>90==	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==27,556==	==15,000==	Das Ergebnis ist gültig; siehe Anlage. Il risultato è valido; vedi allegato.

➤ **Campione numero 8**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante [%]
[mm]	[g]	
32,000	0,0	100,00
20,000	35,9	96,20
10,000	221,0	72,79
4,000	286,7	42,43
2,000	107,4	31,06
0,500	134,9	16,77
0,250	41,3	12,40
0,063	58,7	6,18
0	58,4	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	944,3
Endgewicht Peso finale	944,2
Siebverlust Peso materiale perso	0,1

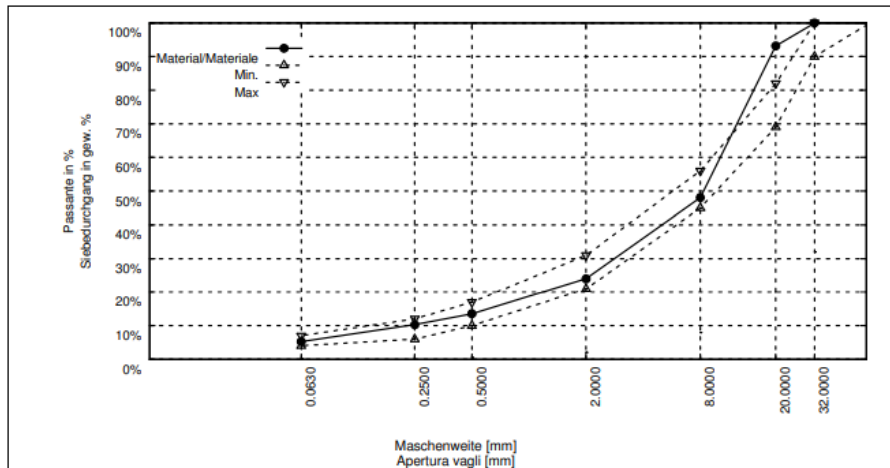


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	-----	g	==944,3==	-----	
Gewicht Mischgut Peso miscela	-----	g	==992,7==	-----	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==4,88==	von 4,3 bis 5,7 da 4,3 a 5,7	
Marshallichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.338==	sh. T. Composition vedi T. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.681==	sh. T. Composition vedi T. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.491==	-----	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==6,14==	von 3 bis 7 (8) da 3 a 7 (8)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==64,00==	-----	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==17,06==	-----	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	-----	-----	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	-----	-----	
Steifheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	-----	-----	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	-----	-----	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	-----	-----	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==6,4== (B) ==6,2== (C) ==6,3== (D) ==6,4==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,83==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	-----	-----	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==28,018==	==12,000==	Das Ergebnis ist gültig: siehe Anlage. Il risultato è valido: vedi allegato.

➤ **Campione numero 9**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante [%]
[mm]	[g]	
63,000	0,0	100,00
32,000	0,0	100,00
20,000	63,4	93,17
8,000	418,1	48,10
2,000	223,6	24,00
0,500	97,0	13,55
0,250	30,5	10,26
0,063	46,6	5,24
0	48,6	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	927,8
Endgewicht Peso finale	927,6
Siebverlust Peso materiale perso	0,2

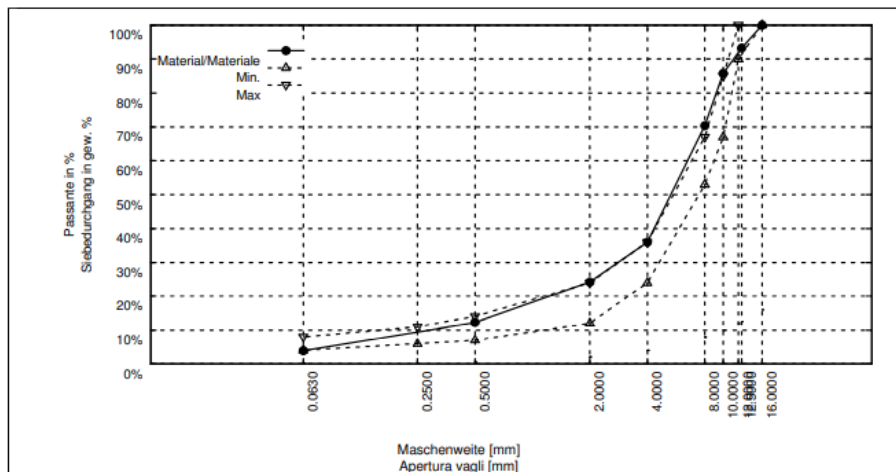


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==927,8==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==970,3==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==4,38==	von 4,3 bis 5,3 da 4,3 a 5,3	
Marshaldichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.400==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.714==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.537==	=====	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==5,42==	von 3 bis 7 (8) da 3 a 7 (8)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==65,29==	=====	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==15,48==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Stiffheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==12,1== (B) ==11,6== (C) ==11,3== (D) ==11,4==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,89==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	=====	=====	

➤ **Campione numero 10**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
16,000	0,0	100,00
12,500	62,4	93,25
10,000	68,5	85,84
8,000	143,2	70,35
4,000	317,4	36,02
2,000	109,1	24,22
0,500	110,9	12,22
0,063	77,1	3,88
0	35,9	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	924,5
Endgewicht Peso finale	924,4
Siebverlust Peso materiale perso	0,1

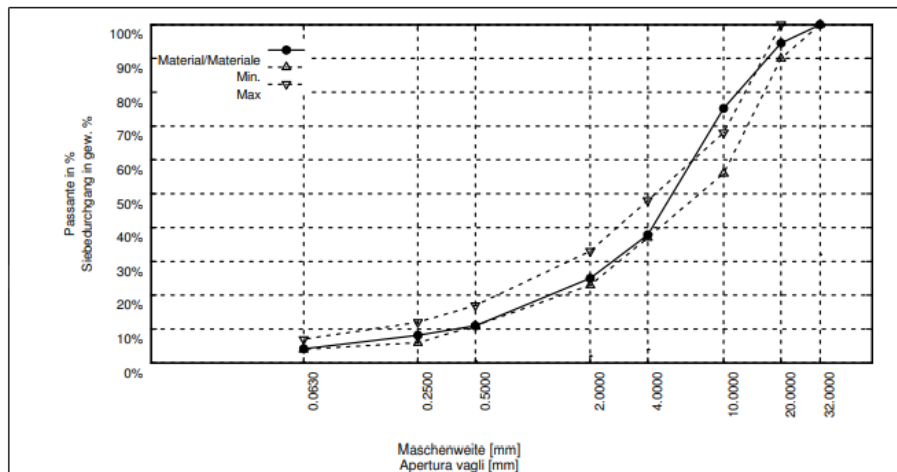


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==924,5==	=====	
Gewicht Mischung Peso miscela	=====	g	==999,4==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==7,49==	von 7,0 bis 8,5 da 7,0 a 8,5	
Marshaldichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2,145==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2,584==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischung (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2,314==	sh. T. Composition vedi t. compositio	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==7,30==	von 5 bis 10 da 5 a 10	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	=====	=====	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	=====	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Stiffheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	==100==	==100==	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==4,5== (B) ==4,6== (C) ==4,6== (D) ==4,7==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,52==	=====	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	==>90==	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==23,987==	==15,000==	Das Ergebnis ist gültig; siehe Anlage. Il risultato è valido: vedi allegato.

➤ **Campione numero 11**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante
[mm]	[g]	[%]
32,000	0,0	100,00
20,000	58,9	94,51
10,000	206,8	75,24
4,000	401,3	37,86
2,000	138,0	25,00
0,500	150,7	10,96
0,250	29,5	8,21
0,063	43,0	4,20
0	45,1	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	1.073,3
Endgewicht Peso finale	1.072,9
Siebverlust Peso materiale perso	0,4

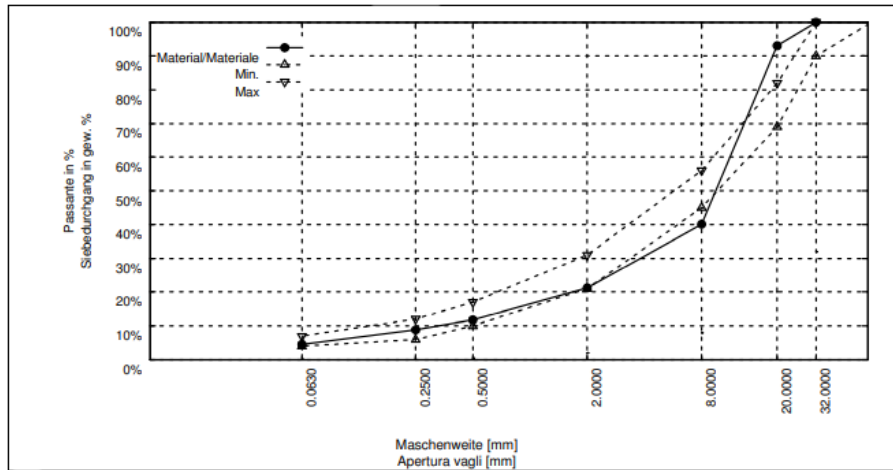


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==1.073,3==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.132,0==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==5,19==	von 4,3 bis 5,7 da 4,3 a 5,7	
Marshalldichte (ρ sea) Densità Marshall (ρ sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.329==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (ρ a) Massa volumica dei granuli (ρ a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.696==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (ρ mc) Massa volumica della miscela (ρ mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.492==	=====	
Hohraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==6,56==	von 3 bis 7 (8) da 3 a 7 (8)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==63,82==	=====	
Hohraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==18,13==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Stiffheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==4,3== (B) ==4,5== (C) ==4,8== (D) ==4,8==	sh. Progetto vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,50==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==31,969==	==12,000==	Das Ergebnis ist gültig: siehe Anlage. Il risultato è valido: vedi allegato.

➤ **Campione numero 12**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante [%]
[mm]	[g]	[%]
63.000	0,0	100,00
32.000	0,0	100,00
20.000	76,6	93,01
8.000	579,6	40,08
2.000	206,7	21,20
0,500	103,2	11,78
0,250	31,9	8,87
0,063	47,4	4,54
0	49,7	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	1.095,1
Endgewicht Peso finale	1.094,6
Siebverlust Peso materiale perso	0,5

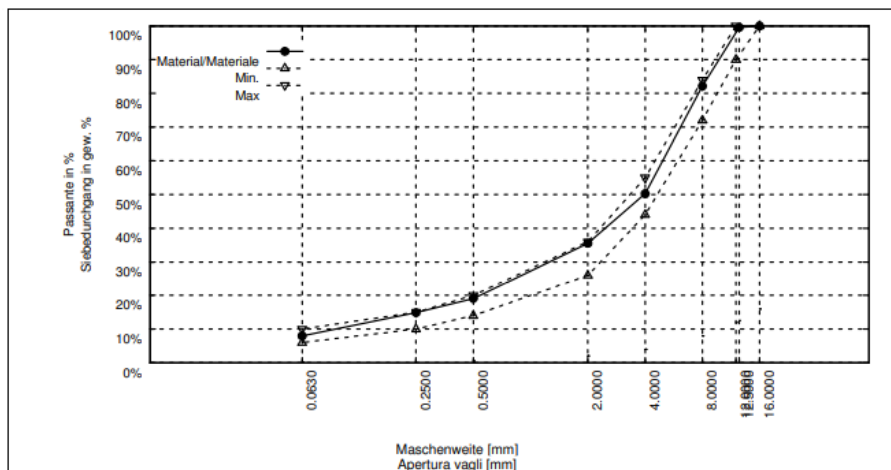


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==1.095,1==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.139,8==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==3,92==	von 4,3 bis 5,3 da 4,3 a 5,3	
Marshallichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.328==	sh. T. Composition vedi T. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.693==	sh. T. Composition vedi T. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.536==	=====	
Hohraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==8,23==	von 3 bis 7 (8) da 3 a 7 (8)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==51,53==	=====	
Hohraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==16,96==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Stiffheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI FN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==11,3== (B) ==11,2== (C) ==11,5== (D) ==11,9==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,66==	==0,9 - 1,5==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	=====	=====	

➤ **Campione numero 13**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granulometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante [%]
[mm]	[g]	
16,000	0,0	100,00
12,500	4,0	99,58
8,000	165,2	82,13
4,000	301,6	50,27
2,000	139,2	35,57
0,500	155,9	19,11
0,250	40,3	14,85
0,063	65,2	7,96
0	75,4	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	946,8
Endgewicht Peso finale	946,1
Siebverlust Peso materiale perso	0,7

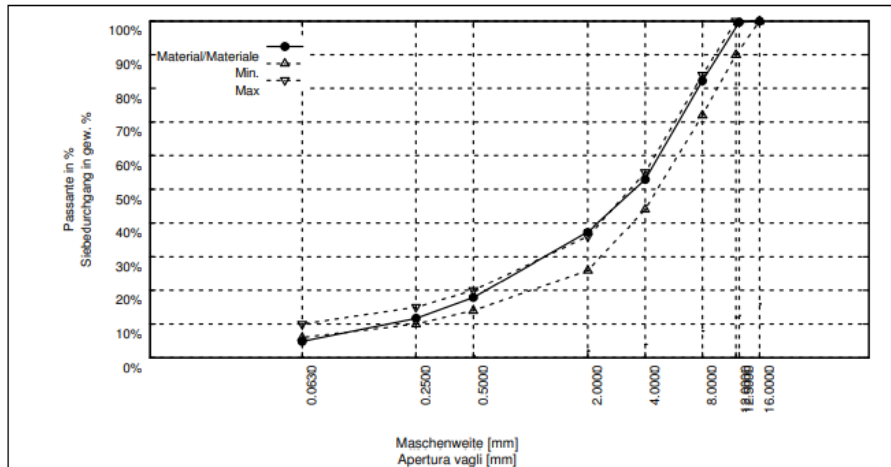


Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==946,8==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.005,2==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==5,81==	von 4,6 bis 6,2 da 4,6 a 6,2	
Marshalldicke (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.141==	sh. T. Composition vedi T. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.655==	sh. T. Composition vedi T. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.437==	=====	
Hohlräumegehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==12,15==	von 2 bis 6 (7) da 2 a 6 (7)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==49,56==	=====	
Hohlräumegehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==24,05==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	Mm	=====	=====	
Stiffheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	==44,32==	==> 35==	siehe Anmerkung vedi nota
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==3,7== (B) ==3,8== (C) ==3,5== (D) ==4,6==	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,46==	==0,8 - 1,4==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==16,432==	==15,000==	Das Ergebnis ist nicht gültig: siehe Anlage. Il risultato non è valido: vedi allegato

➤ **Campione numero 14**

Siebanalyse laut UNI EN 12697-2. Granometria riferito alla norma UNI EN 12697-2.		
Siebe Setacci	Rückstand Trattenuto	Summe des Siebdurchg. Cumulativo passante [%]
[mm]	[g]	
16,000	0,0	100,00
12,500	3,5	99,65
8,000	172,3	82,21
4,000	289,0	52,96
2,000	154,3	37,34
0,500	192,1	17,89
0,250	61,1	11,71
0,063	68,0	4,83
0	47,7	-----

Anfangsgewicht Peso iniziale	988,0
Endgewicht Peso finale	987,7
Siebverlust Peso materiale perso	0,3



Prüfung Determinazione	Norm Norma	Einheit U.M.	Ergebnis Risultato	Grenzwert Valore limite	Anmerkungen Note
Gewicht der Zuschlagstoffe Peso tot. aggregati	=====	g	==988,0==	=====	
Gewicht Mischgut Peso miscela	=====	g	==1.051,4==	=====	
Bindemittel Legante	UNI EN 12697-1	Gewicht % Peso %	==6,03==	von 4,6 bis 6,2 da 4,6 a 6,2	
Marshaldichte (p sea) Densità Marshall (p sea)	UNI EN 12697-6	kg / m³	==2.210==	sh. T. Composition vedi t. composition	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Rohdichte Zuschlag (p a) Massa volumica dei granuli (p a)	UNI EN 1097-6	kg / m³	==2.661==	sh. T. Composition vedi t. composition	
Rohdichte Mischgut (p mc) Massa volumica della miscela (p mc)	UNI EN 12697-5	kg / m³	==2.434==	=====	
Hohlraumgehalt (Vm) Vuoti residui (Vm)	UNI EN 12697-8	%	==9,23==	von 2 bis 6 (7) da 2 a 6 (7)	Mittel aus 2 Proben Media di 2 provini
Mit Bitumen gefüllten Hohlräume (Vfb) Vuoti riempiti di bitume (Vfb)	UNI EN 12697-8	%	==58,05==	=====	
Hohlraumgehalt im Mineralstoffgemisch (Vma) Vuoti nell'aggregato minerale (Vma)	UNI EN 12697-8	%	==21,98==	=====	
Stabilität Marshall Stabilità Marshall	UNI EN 12697-34	kN	=====	=====	
Fließwert Marshall Scorrimento Marshall	UNI EN 12697-34	mm	=====	=====	
Steifheit Marshall Rigidità Marshall	UNI EN 12697-34	kN / mm	=====	=====	
Gehalt an nicht karbonathaltigem Material Contenuto materiale di natura non carbonatica	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	==45,50==	==> 35==	siehe Anmerkung vedi nota
Gehalt karbonat. Material auf ges. Mischung Cont. mat. carbonatico sul totale della miscela	UNI EN 932-3	Gewicht % Peso %	=====	=====	
Stärke der Schicht (Bohrkern A/B/C/D) Spessore dello strato (carota A/B/C/D)	UNI EN 12697-36	cm	(A) ==6,3== (B) ==6,3== (C) ==5,7== (D) =====	sh. Projekt vedi progetto	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit Determinazione della trazione indiretta	UNI-EN 12697-23 - UNI-EN 12697-23	N/mm²	==0,45==	==0,8 - 1,4==	
Bestimmung der Wasserempfindlichkeit Determinazione della sensibilità all'acqua	UNI EN 12697-12	%	=====	=====	
Schichtenverbund Adesione tra gli strati	SN 670461	kN	==26,906==	==15,000==	Das Ergebnis ist gültig; siehe Anlage. Il risultato è valido: vedi allegato.

