

progetto

LEOPOLDO

**Sicurezza e
Compatibilità Ambientale
nella viabilità ordinaria**

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

LINEE GUIDA

**REGIONE
TOSCANA**



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



UNIVERSITÀ DI PISA
Dipartimento di Ingegneria Civile



ARPAT

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

INDICE

1	INTRODUZIONE	8
2	Miscele per strati di base	9
2.1	<i>STRATI DI BASE REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TRADIZIONALI A CALDO</i>	10
2.1.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	10
2.1.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	10
2.1.2.1	Aggregati	10
2.1.2.2	Conglomerato riciclato	11
2.1.2.3	Legante	11
2.1.2.4	Additivi	12
2.1.3	MISCELA	13
2.1.3.1	Composizione della miscela	13
2.1.3.2	Accettazione della miscela	15
2.1.3.3	Tolleranze sui risultati	15
2.1.4	ESECUZIONE DEI LAVORI	15
2.1.4.1	Confezionamento della miscela	15
2.1.4.2	Preparazione della superficie di stesa	16
2.1.4.3	Posa in opera della miscela	17
2.1.5	CONTROLLI	18
2.1.5.1	Controllo delle forniture	18
2.1.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	19
2.1.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito	19
2.2	<i>STRATI DI BASE REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI A TIEPIDO</i>	21
2.2.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	21
2.2.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	21
2.2.2.1	Aggregati	21
2.2.2.2	Conglomerato riciclato	22
2.2.2.3	Legante	23
2.2.3	MISCELA	23
2.2.3.1	Composizione della miscela	23
2.2.3.2	Accettazione della miscela	25
2.2.3.3	Tolleranze sui risultati	25
2.2.4	ESECUZIONE DEI LAVORI	25
2.2.4.1	Confezionamento della miscela	25
2.2.4.2	Preparazione della superficie di stesa	26
2.2.4.3	Posa in opera della miscela	28
2.2.5	CONTROLLI	29
2.2.5.1	Controllo delle forniture	29
2.2.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	29
2.2.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito	30
2.3	<i>STRATI DI BASE OTTENUTI DAL RICICLAGGIO A FREDDO CON EMULSIONE E CEMENTO DI CONGLOMERATI FRESATI</i>	31
2.3.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	31
2.3.2	QUALIFICA DEI MATERIALI	31
2.3.2.1	Materiale da riciclare	31
2.3.2.2	Inerti d'integrazione	32
2.3.2.3	Bitume	33
2.3.2.4	Cemento	33
2.3.2.5	Acqua	34
2.3.3	MISCELA	34
2.3.3.1	Studio della miscela di progetto	34
2.3.3.2	Accettazione della miscela	36
2.3.4	ESECUZIONE DEI LAVORI	36

2.3.5	CONTROLLI.....	36
2.3.5.1	Controllo delle forniture	37
2.3.5.2	Controllo della miscela prelevata in fase di posa in opera	37
2.3.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	37
2.4	<i>STRATI DI BASE OTTENUTI DA STABILIZZAZIONE CON BITUME SCHIUMATO E CEMENTO DI MATERIALI PROVENIENTI DALLA PAVIMENTAZIONE ESISTENTE</i>	40
2.4.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	40
2.4.2	QUALIFICA DEI MATERIALI	40
2.4.2.1	Materiale da STABILIZZARE.....	40
2.4.2.2	Inerti d'integrazione.....	41
2.4.2.3	Bitume SCHIUMATO.....	42
2.4.2.4	Cemento	42
2.4.2.5	Acqua	43
2.4.3	MISCELA.....	43
2.4.3.1	Studio della miscela di progetto	43
2.4.3.2	Accettazione della miscela.....	45
2.4.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	45
2.4.5	CONTROLLI.....	46
2.4.5.1	Controllo delle forniture	46
2.4.5.2	Controllo della miscela prelevata in fase di posa in opera	46
2.4.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	47
3	Miscele per strati di binder.....	49
3.1	<i>STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TRADIZIONALI A CALDO</i>	50
3.1.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	50
3.1.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	50
3.1.2.1	Aggregati.....	50
3.1.2.2	Conglomerato riciclato.....	51
3.1.2.3	Legante	51
3.1.2.4	Additivi.....	52
3.1.3	MISCELA.....	53
3.1.3.1	Composizione della miscela	53
3.1.3.2	Accettazione della miscela.....	55
3.1.3.3	Tolleranze sui risultati.....	55
3.1.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	55
3.1.4.1	Confezionamento della miscela.....	55
3.1.4.2	Preparazione della superficie di stesa	56
3.1.4.3	Posa in opera della miscela.....	57
3.1.5	CONTROLLI.....	58
3.1.5.1	Controllo delle forniture	58
3.1.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	59
3.1.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	59
3.2	<i>STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI CONFEZIONATI A TIEPIDO</i>	61
3.2.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	61
3.2.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	61
3.2.2.1	Aggregati.....	61
3.2.2.2	Conglomerato riciclato.....	62
3.2.2.3	Legante	63
3.2.3	MISCELA.....	63
3.2.3.1	Composizione della miscela	63
3.2.3.2	Accettazione della miscela.....	65
3.2.3.3	Tolleranze sui risultati.....	65
3.2.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	65
3.2.4.1	Confezionamento della miscela	65
3.2.4.2	Preparazione della superficie di stesa	66
3.2.4.3	Posa in opera della miscela.....	68

3.2.5	CONTROLLI.....	69
3.2.5.1	Controllo delle forniture	69
3.2.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	69
3.2.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	70
3.3	<i>STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI AD ELEVATA DURATA A FATICA</i>	71
3.3.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	71
3.3.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	71
3.3.2.1	Aggregati.....	71
3.3.2.2	Conglomerato riciclato.....	72
3.3.2.3	Legante	72
3.3.3	MISCELA.....	73
3.3.3.1	Composizione della miscela	73
3.3.3.2	Accettazione della miscela.....	75
3.3.3.3	Tolleranze sui risultati.....	75
3.3.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	75
3.3.4.1	Confezionamento della miscela.....	75
3.3.4.2	Preparazione della superficie di stesa	76
3.3.4.3	Posa in opera della miscela.....	77
3.3.5	CONTROLLI.....	78
3.3.5.1	Controllo delle forniture	78
3.3.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	79
3.3.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	79
3.4	<i>STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO GAP GRADED CONFEZIONATI CON BITUME MODIFICATO MEDIANTE L'AGGIUNTA DI POLIMERI SBR/NR SECONDO PROCESSO WET</i>	81
3.4.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	81
3.4.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	81
3.4.2.1	Aggregati.....	81
3.4.2.2	Legante	82
3.4.2.3	Additivi.....	84
3.4.3	MISCELA.....	84
3.4.3.1	Composizione della miscela	84
3.4.3.2	Accettazione della miscela.....	85
3.4.3.3	Tolleranze sui risultati.....	85
3.4.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	86
3.4.4.1	Confezionamento della miscela	86
3.4.4.2	Preparazione della superficie di stesa	86
3.4.4.3	Posa in opera della miscela.....	88
3.4.5	CONTROLLI.....	89
3.4.5.1	Controllo delle forniture	89
3.4.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	89
3.4.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	90
4	Miscele per strati di usura	91
4.1	<i>MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO GAP GRADED</i>	92
4.1.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	92
4.1.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	92
4.1.2.1	Aggregati.....	92
4.1.2.2	Legante	93
4.1.2.3	Additivi.....	94
4.1.3	MISCELA.....	95
4.1.3.1	Composizione della miscela	95
4.1.3.2	Accettazione della miscela.....	96
4.1.3.3	Tolleranze sui risultati.....	96
4.1.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	97
4.1.4.1	Confezionamento della miscela	97
4.1.4.2	Preparazione della superficie di stesa	97

4.1.4.3	Posa in opera della miscela.....	98
4.1.5	CONTROLLI.....	99
4.1.5.1	Controllo delle forniture	99
4.1.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	100
4.1.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito	100
4.2	<i>MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO OPEN GRADED</i>	104
4.2.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	104
4.2.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	104
4.2.2.1	Aggregati.....	104
4.2.2.2	Legante	105
4.2.2.3	Additivi.....	106
4.2.3	MISCELA	107
4.2.3.1	Composizione della miscela	107
4.2.3.2	Accettazione della miscela.....	108
4.2.3.3	Tolleranze sui risultati.....	108
4.2.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	109
4.2.4.1	Confezionamento della miscela	109
4.2.4.2	Preparazione della superficie di stesa	109
4.2.4.3	Posa in opera della miscela.....	110
4.2.5	CONTROLLI.....	112
4.2.5.1	Controllo delle forniture	112
4.2.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	112
4.2.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	112
4.3	<i>MANTI DI USURA A TESSITURA OTTIMIZZATA REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO DENSE GRADED</i>	117
4.3.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	117
4.3.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	117
4.3.2.1	Aggregati.....	117
4.3.2.2	Legante	118
4.3.2.3	Additivi.....	119
4.3.3	MISCELA	119
4.3.3.1	Composizione della miscela	119
4.3.3.2	Accettazione della miscela.....	120
4.3.3.3	Tolleranze sui risultati.....	121
4.3.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	121
4.3.4.1	Confezionamento della miscela	121
4.3.4.2	Preparazione della superficie di stesa	122
4.3.4.3	Posa in opera della miscela.....	123
4.3.5	CONTROLLI.....	124
4.3.5.1	Controllo delle forniture	124
4.3.5.2	Controllo delle miscele prelevate al momento della stesa.....	125
4.3.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	125
4.4	<i>MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO DENSE GRADED CONTENENTI ARGILLA ESPANSA</i>	129
4.4.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	129
4.4.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	129
4.4.2.1	Aggregati.....	129
4.4.2.2	Legante	131
4.4.3	MISCELA	131
4.4.3.1	Composizione della miscela	131
4.4.3.2	Accettazione della miscela.....	133
4.4.3.3	Tolleranze sui risultati.....	133
4.4.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	134
4.4.4.1	Confezionamento della miscela	134
4.4.4.2	Preparazione della superficie di stesa	134
4.4.4.3	Posa in opera della miscela.....	136

4.4.5	CONTROLLI.....	137
4.4.5.1	Controllo delle forniture	137
4.4.5.2	Controllo delle miscele prelevate al momento della stesa.....	137
4.4.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	137
4.5	<i>MANTI DI USURA SPECIALI TIPO MICROTAPPETO</i>	142
4.5.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	142
4.5.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	142
4.5.2.1	Aggregati.....	142
4.5.2.2	Legante	143
4.5.2.3	Additivi.....	144
4.5.3	MISCELA.....	144
4.5.3.1	Composizione della miscela	144
4.5.3.2	Accettazione della miscela.....	146
4.5.3.3	Tolleranze sui risultati.....	146
4.5.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	146
4.5.4.1	Confezionamento della miscela.....	146
4.5.4.2	Preparazione della superficie di stesa	147
4.5.4.3	Posa in opera della miscela.....	148
4.5.5	CONTROLLI.....	149
4.5.5.1	Controllo delle forniture	149
4.5.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	149
4.5.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito.....	150
4.6	<i>MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO GAP GRADED CONFEZIONATI CON BITUMI MODIFICATI MEDIANTE L'AGGIUNTA DI POLIMERI SBR/NR SECONDO PROCESSO WET</i>	155
4.6.1	GENERALITA' E DEFINIZIONI	155
4.6.2	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	155
4.6.2.1	Aggregati.....	155
4.6.2.2	Legante	156
4.6.2.3	Additivi.....	158
4.6.3	MISCELA.....	158
4.6.3.1	Composizione della miscela	158
4.6.3.2	Accettazione della miscela.....	159
4.6.3.3	Tolleranze sui risultati.....	160
4.6.4	ESECUZIONE DEI LAVORI.....	160
4.6.4.1	Confezionamento della miscela	160
4.6.4.2	Preparazione della superficie di stesa	160
4.6.4.3	Posa in opera della miscela.....	162
4.6.5	CONTROLLI.....	163
4.6.5.1	Controllo delle forniture	163
4.6.5.2	Controllo della miscela prelevata al momento della stesa	163
4.6.5.3	Controlli prestazionali sullo strato finito	164

1 INTRODUZIONE

Le Specifiche Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto possono avere un'impostazione diversa a seconda che siano di tipo prescrittivo o di tipo prestazionale.

Le Specifiche Tecniche prescrittive: si basano sulle conoscenze precedentemente acquisite sulla buona riuscita di realizzazioni analoghe per tipologia e condizioni di esercizio. Riguardano tutte le fasi della realizzazione di una determinata opera, e cioè: l'accettabilità dei materiali, il confezionamento delle miscele, i controlli in corso d'opera, le macchine di cantiere e le modalità esecutive dei lavori in generale.

Le Specifiche prestazionali: si riferiscono alle prestazioni che l'opera dovrà garantire dopo la sua ultimazione. A queste prestazioni vengono associati parametri di controllo che possono essere valutati prescindendo dai materiali impiegati e dalle tecniche di lavorazione adottate, i controlli sono quindi effettuati sull'opera finita. Ne deriva che, per essere pienamente efficaci, le Specifiche Tecniche di questo tipo devono basarsi su parametri assolutamente affidabili e inequivocabilmente connessi alle prestazioni finali. Per i controlli sono quindi da preferire determinazioni sperimentali simulate in reale grandezza e/o di tipo razionale in laboratorio che consentano di valutare le caratteristiche prestazionali con parametri significativi. Le Specifiche prestazionali agevolano la Direzione Lavori, perché può evitare i continui controlli in corso d'opera, e l'Impresa esecutrice perché può adottare le strategie più vantaggiose per ottenere le caratteristiche prestazionali prescritte.

Va segnalato al riguardo che l'attuazione delle Specifiche prestazionali richiede un superiore livello di conoscenze da parte dei Tecnici e delle Imprese e la disponibilità di Laboratori prove dotati di specifiche attrezzature sperimentali, in generale più complesse di quelle tradizionali, necessarie per le prove in laboratorio e per quelle in situ che debbono essere del tipo ad "alto rendimento", cioè capaci di determinare in breve tempo i parametri richiesti.

Sulla base di tali considerazioni si è ritenuto opportuno mettere a punto il presente documento, con l'obiettivo di far convivere l'esigenza di prevedere Specifiche Tecniche di tipo prestazionale con quella di conservare quelle Specifiche Tecniche prescrittive non sopprimibili, opportunamente aggiornate, e tenendo conto della gerarchia delle varie realizzazioni.

Nelle presenti Specifiche Tecniche, relative a strade extraurbane secondarie, sono stati indicati i requisiti qualitativi dei materiali e i parametri prestazionali commisurati all'entità delle azioni indotte da un traffico giornaliero medio sulla corsia più caricata compreso tra 450 e 1100 veicoli commerciali aventi peso totale maggiore di 30 kN.

Per quanto riguarda la normativa tecnica relativa agli strumenti e ai metodi di controllo e alla classificazione dei materiali, si è fatto riferimento, a seconda dell'argomento trattato e della disponibilità di Norme approvate, alle Norme europee EN, alle Norme nazionali CNR e UNI, alle Norme VSS (Svizzera) e alle Norme ASTM (U.S.A.).

E' da precisare che le presenti Specifiche Tecniche del Capitolato non possono essere utilizzate per tutte le opere cui si riferiscono, in qualunque condizione ambientale e di sollecitazione cui le stesse sono soggette. Esse infatti, pur avendo carattere generale, vanno considerate come indicazioni a supporto della progettazione e della realizzazione della specifica opera, per la quale possono adottarsi disposizioni diverse e/o innovative rispetto a quelle qui previste.

2 MISCELE PER STRATI DI BASE

2.1 STRATI DI BASE REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TRADIZIONALI A CALDO

2.1.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I conglomerati bituminosi a caldo sono miscele, dosate a peso o a volume, costituite da aggregati lapidei di primo impiego, bitume, additivi ed eventualmente conglomerato riciclato.

Essi si distinguono in conglomerati bituminosi “tradizionali”, se confezionati con bitume semisolido (tal quale) e conglomerati bituminosi ad elevate prestazioni, se confezionati con bitume modificato. Tali miscele si utilizzano per realizzare strati di base aventi spessore maggiore o uguale a 9 cm.

2.1.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

2.1.2.1 AGGREGATI

Gli aggregati lapidei di primo impiego risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fine o di additivazione: tali aggregati, insieme all'eventuale conglomerato riciclato, costituiscono la fase solida dei conglomerati bituminosi.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondegianti, da elementi naturali tondegianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nelle Tabella 2.1.

Tabella 2.1 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 30	LA_{30}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	≥ 70	$C_{50/30}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	30	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nelle Tabella 2.2.

Tabella 2.2 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 50	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	N.P.	-
Limite Liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	≤ 25	-
Blu di Metilene della frazione 0/0,125 mm	UNI EN 933-9	g/kg	≤ 10	MB_{F10}

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati; può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per conglomerati bituminosi a caldo tradizionali deve soddisfare i requisiti indicati in Tabella 2.3.

Tabella 2.3 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R\&B}8/16$

2.1.2.2 CONGLOMERATO RICICLATO

Per conglomerato riciclato si intende quello proveniente dalla frantumazione in frantoio di lastre o blocchi di conglomerato demolito con sistemi tradizionali, oppure dalla fresatura in situ eseguita con idonee macchine (preferibilmente a freddo). Per ogni lavorazione, le percentuali in peso di materiale fresato definito di “integrazione”, riferite al totale della miscela degli inerti, devono essere comprese nei limiti riportati nella Tabella 2.4. Per il confezionamento di strati di base può essere utilizzato conglomerato riciclato di qualsiasi provenienza (usura, binder, base).

La percentuale e la provenienza del conglomerato riciclato da impiegare deve essere obbligatoriamente dichiarata nello studio di progetto della miscela che l’Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Tabella 2.4 Composizioni indicative dei formulati per conglomerati bituminosi tradizionali per strati di base

Materiali freschi (% di impiego nella miscela)	Materiali fresati (% di impiego nella miscela)	Attivanti Chimici Funzionali [A.C.F.] (% in peso riferito al bitume)
≥ 70	< 30	< 10

2.1.2.3 LEGANTE

I bitumi sono composti organici costituiti sostanzialmente da miscele di idrocarburi, completamente solubili in solfuro di carbonio e dotati di capacità legante.

I leganti bituminosi semisolidi impiegati senza alcun trattamento sono quei bitumi per uso stradale di normale produzione di raffineria impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi a caldo tradizionali.

Il bitume deve essere del tipo 50/70 con le caratteristiche indicate nella Tabella 2.5.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 2.5 Requisiti del bitume semisolido tal quale per conglomerati bituminosi tradizionali per strati di base

Parametro	Normativa	Unità di misura	Tipo 50/70 UNI EN 12591
<i>Requisiti essenziali</i>			
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	50 - 70
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	46 - 54
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%
	Incremento del punto di rammollimento - <i>Severità 1</i>	UNI EN 1427	°C
	Incremento del punto di rammollimento - <i>Severità 2</i> ^(*)	UNI EN 1427	°C
	Variazione di massa	-	%
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 230
Solubilità	UNI EN 12592	%	≥ 99,0
<i>Altre proprietà</i>			
Indice di penetrazione ^(*)	UNI EN 12591	-	da -1,5 a +0,7
Viscosità dinamica a 60°C	UNI EN 12596	Pa·s	≥ 145
Punto di rottura (Fraass) ^(*)	UNI EN 12593	°C	≤ -8
Viscosità cinematica a 135°C	UNI EN 12595	mm ² /s	≥ 295

^(*) Se si seleziona la *Severità 2*, essa deve essere associata ai requisiti relativi al punto di rottura Fraass o all'indice di penetrazione o ad entrambi

2.1.2.4 ADDITIVI

Per migliorare le prestazioni dei conglomerati bituminosi si aggiungono agli aggregati o al bitume dei prodotti naturali o artificiali che prendono il nome di additivi.

Attivanti d'adesione

Gli attivanti d'adesione sono additivi tensioattivi che favoriscono l'adesione bitume - aggregato, utilizzati per migliorare la durabilità all'acqua delle miscele bituminose.

Il loro dosaggio va specificato obbligatoriamente nello studio della miscela e può variare a seconda delle condizioni di impiego, della natura degli aggregati e delle caratteristiche del prodotto. La scelta del tipo e del dosaggio di additivo dovrà essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua riportate nelle Tabella 2.1 e Tabella 2.9. L'attivante di adesione scelto deve presentare, in ogni caso, caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180 °C) per lunghi periodi (15 giorni). Per immettere le sostanze tensioattive nel bitume devono essere impiegate attrezzature idonee, al fine di garantire l'esatto dosaggio e la loro perfetta dispersione nel legante bituminoso.

La presenza ed il dosaggio degli attivanti d'adesione nel bitume vengono verificati mediante la prova di separazione cromatografica su strato sottile.

Attivanti chimici funzionali

Gli attivanti chimici funzionali (ACF) sono prodotti studiati appositamente per migliorare la tecnologia del riciclaggio e/o l'impiego di riciclati in miscele tradizionali. Essi sono impiegati per

rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato contenuto nel conglomerato bituminoso da riciclare e devono avere le caratteristiche chimico-fisiche riportate nella Tabella 2.6. Il dosaggio varia in funzione della percentuale di conglomerato riciclato e delle caratteristiche del bitume in esso contenuto e può essere determinato utilizzando la procedura riportata nella nota ¹.

Tabella 2.6 Requisiti degli Attivanti Chimici Funzionali (ACF)

Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Densità a 25/25°C	ASTM D - 1298		0,900 - 0,950
Punto di infiammabilità v.a.	ASTM D - 92	°C	200
Viscosità dinamica a 160°C, $\gamma = 10\text{ s}^{-1}$	SNV 671908/74	Pa s	0,03 - 0,05
Solubilità in tricloroetilene	ASTM D - 2042	% in peso	99,5
Numero di neutralizzazione	IP 213	mg/KOH/g	1,5-2,5
Contenuto di acqua	ASTM D - 95	% in volume	1
Contenuto di azoto	ASTM D - 3228	% in peso	0,8 - 1,0

2.1.3 MISCELA

2.1.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La composizione indicativa della miscela di tipo tradizionale per strati base è riportata nella Tabella 2.4. La miscela degli aggregati di primo impiego e del conglomerato da riciclare, da adottarsi per gli strati di base, deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 2.7. La percentuale di legante totale (compreso il bitume presente nel conglomerato da riciclare attivato con ACF), riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa Tabella 2.7.

La quantità di bitume nuovo di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31. Le caratteristiche richieste per la miscela di conglomerato bituminoso tradizionale per strati di base sono riportate nelle Tabella 2.8 e Tabella 2.9.

¹ La quantità di ACF da impiegare dipende dalla percentuale teorica del bitume nuovo da aggiungere che si determina mediante la seguente espressione:

$$P_n = P_t - (P_v \times P_r)$$

dove

P_n = percentuale di legante nuovo da aggiungere riferita al totale degli inerti;

P_t = percentuale totale di bitume nella miscela di inerti nuovi e conglomerato di riciclo;

P_v = percentuale di bitume vecchio (preesistente) riferita al totale degli inerti;

P_r = frazione di conglomerato riciclato rispetto al totale della miscela.

Il valore di P_t viene determinato con l'espressione:

$$P_t = 0,035 a + 0,045 b + cd + f$$

dove:

P_t = % di bitume in peso riferita alla miscela totale, espressa come numero intero;

a = % di aggregato trattenuto allo staccio UNI 2 mm;

b = % di aggregato passante allo staccio UNI 2 mm e trattenuto al staccio 0,063 mm;

c = % di aggregato passante allo staccio 0,063 mm;

d = 0,15 per un passante allo staccio 0,063 mm compreso tra 11 e 15;

d = 0,18 per un passante allo staccio 0,063 mm compreso tra 6 e 10;

d = 0,20 per un passante allo staccio 0,063 mm ≤ 6 ;

f = parametro compreso normalmente fra 0,3 e 0,8, variabile in funzione dell'assorbimento degli inerti.

Si procede quindi a costruire, in un diagramma viscosità (a 60 °C) - percentuale di rigenerante (rispetto al legante nuovo), una curva di viscosità con almeno tre punti misurati:

K = viscosità della miscela composta dal bitume estratto (metodo ASTM D5404-97) e dal bitume aggiunto nelle proporzioni determinate con le formule precedenti, senza rigenerante.

M = viscosità della miscela bitume estratto più bitume aggiunto in cui una parte del bitume nuovo è sostituita dall'agente rigenerante nella misura del 10% in peso rispetto al bitume aggiunto.

F = viscosità della miscela simile alla precedente in cui una parte del bitume nuovo è sostituita dall'agente rigenerante nella misura del 20% in peso rispetto al bitume aggiunto. La percentuale di rigenerante necessaria si ottiene da questo diagramma mediante interpolazione lineare alla viscosità di 200 Pa*s.

Tabella 2.7 Requisiti granulometrici della miscela di aggregati

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	31,5	100
Staccio	20	70 – 95
Staccio	12,5	45 – 70
Staccio	8	35 – 58
Staccio	4	27 – 45
Staccio	2	20 – 35
Staccio	0,5	7 – 21
Staccio	0,25	4 – 15
Staccio	0,125	4 – 10
Staccio	0,063	4 – 8
% di bitume		3,5 – 4,5

Tabella 2.8 Requisiti della miscela di conglomerato bituminoso tradizionale per strati di base studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	150
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	10 – 14
Vuoti a 100 rotazioni (*)(**)	%	3 – 5
Vuoti a 180 rotazioni (*)	%	≥ 2

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 100 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

Tabella 2.9 Requisiti meccanici della miscela di conglomerato bituminoso tradizionale per strati di base studiata con metodo volumetrico

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	1,0 – 1,6
Coefficiente di trazione indiretta CTI ² a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	50 – 300
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 75

(***) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria

Sui provini confezionati al 100% della D_G deve essere sperimentalmente determinato un opportuno parametro di rigidezza (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve soddisfare le prescrizioni per esso indicate nel progetto della pavimentazione ed ha la funzione di costituire il riferimento per i controlli alla stessa. In mancanza di specifiche indicazione del progetto il modulo di rigidezza a 20°C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) dovrà rientrare nei limiti riportati in Tabella 2.10.

$$^2 \text{ Coefficiente di trazione indiretta: } CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

Tabella 2.10 Requisiti di rigidezza delle miscele di conglomerato bituminoso tradizionale per strati di base

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valore
Modulo di rigidezza a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C)	MPa	12000 – 20000

2.1.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità delle miscele di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

2.1.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 5 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in situ, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

2.1.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

2.1.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Al fine di garantire il perfetto essiccamiento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità. Si possono impiegare anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione: ogni impianto deve, poi, assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

Se è previsto l'impiego di conglomerato riciclato, l'impianto deve essere attrezzato per il riscaldamento separato del materiale riciclato ad una temperatura compresa tra 90°C e 110°C.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e

convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura. Lo stoccaggio del conglomerato bituminoso riciclato deve essere al coperto. L'umidità del conglomerato riciclato prima del riscaldamento deve essere comunque inferiore al 4%. Nel caso di valori superiori l'impiego del riciclato deve essere sospeso.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 160°C e 180° C e quella del legante tra 150° C e 160° C.

Gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati per consentire la verifica delle suddette temperature.

2.1.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

La preparazione delle superfici di stesa va eseguita prima della realizzazione di uno strato di conglomerato bituminoso allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. A seconda che lo strato di supporto sia in misto granulare oppure in conglomerato bituminoso la lavorazione corrispondente prenderà il nome rispettivamente di mano di ancoraggio e mano d'attacco.

Per **mano di ancoraggio** si intende l'applicazione di emulsione bituminosa a rottura lenta e bassa viscosità sopra uno strato in misto granulare prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso allo scopo di riempire i vuoti dello strato non legato irrigidendone la parte superficiale e fornendo, al contempo, una migliore adesione per l'ancoraggio del successivo strato in conglomerato bituminoso.

Il materiale da impiegare a tale fine è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica al 55%, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.11, applicata con un dosaggio di bitume residuo almeno pari a 1,0 kg/m².

Per **mano d'attacco** si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60% oppure al 65% di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.11 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella 2.12 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55% di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella Tabella 2.11 e Tabella 2.12 per ciascun tipo di emulsione.

I leganti a base di bitume impiegati per le mani di ancoraggio e di attacco dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 2.11 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani di ancoraggio e di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 2.12 Requisiti delle emulsioni bituminose modificate per mani di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	≥ 1,4	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

2.1.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

I conglomerati bituminosi saranno posti in opera mediante macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento: in ogni caso, le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgrannamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente con l'impiego di due finitrici: qualora ciò non sia possibile, il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni; inoltre, la temperatura della miscela all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato preferibilmente con rulli gommati.

Per gli strati di base possono essere utilizzati anche rulli con ruote metalliche vibranti e/o combinati, di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

Si potrà procedere alla stesa della miscela bituminosa dello strato di base solo dopo che sia stata accertata, da parte della Direzione Lavori, la rispondenza della fondazione ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

2.1.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in situ.

2.1.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego e del conglomerato da riciclare (fresato) deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 2.13.

Tabella 2.13 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 2.5
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 2.1
Aggregato fine	Impianto	Tabella 2.2
Filler	Impianto	Tabella 2.3

2.1.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il numero dei prelievi da eseguire è riportato in [Tabella 2.14](#). Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2);
- il modulo di rigidezza E (UNI EN 12697-26 allegato C) a 20 °C e rise-time=125 ms.

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al [Tabella 2.14](#).

Tabella 2.14 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Percentuale di bitume e granulometria degli aggregati risultanti dallo studio della miscela
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Modulo di rigidezza E risultante dallo studio della miscela con una tolleranza di ±20% e comunque all'interno dei limiti di progetto Tabella 2.10

2.1.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il numero di carote da prelevare è riportato nella [Tabella 2.15](#).

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 2.15 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE O DI PROVA	UBICAZIONE PRELIEVO O DELLA PROVA	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Qualora i valori dei vuoti, determinati sulle carote, risultassero superiori a quelli previsti al 2.1.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per ogni tratto omogeneo di stesa, lo spessore dello strato verrà determinato facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere quello previsto nel progetto.

Qualora gli spessori medi risultassero inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

2.2 STRATI DI BASE REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI A TIEPIDO

2.2.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I conglomerati bituminosi confezionati a tiepido (temperature di miscelazione inferiori a 130 °C) garantiscono un basso impatto ambientale riducendo l'inquinamento da emissioni di fumi e polveri sia in fase di produzione sia durante la stesa in opera, cautelando gli operatori e garantendo loro una miglior qualità di lavoro; il contenimento della temperatura durante il confezionamento all'impianto e alla stesa si traduce poi in un considerevole risparmio energetico. Tali eco-obiettivi o eco-prestazioni dovranno essere affiancati ad elevate prestazioni fisico-meccaniche del prodotto finito tali da garantire una pavimentazione più sicura e più durevole. Oltre a questi obiettivi con l'impiego dei conglomerati tiepidi è possibile realizzare pavimentazioni bituminose anche in situazioni meteorologiche sfavorevoli (autunno o inverno) data l'elevata lavorabilità dei materiali a basse temperature e il lento decadimento della temperatura nel tempo.

Il conglomerato tiepido è costituito da una miscela di inerti lapidei di primo impiego (ghiaie, pietrischi, graniglie, sabbie ed additivi) ed eventualmente materiale riciclato (materiale proveniente da fresatura stradale adeguatamente selezionato) miscelata a basse temperature con due leganti bituminosi: TIPO A (molle) e TIPO B (duro). Tali miscele si utilizzano per realizzare strati di base aventi spessore maggiore o uguale a 9 cm.

2.2.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

2.2.2.1 AGGREGATI

Gli aggregati lapidei di primo impiego risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fine o di additivazione: tali aggregati, insieme all'eventuale conglomerato riciclato, costituiscono la fase solida dei conglomerati tiepidi.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondeggianti, da elementi naturali tondeggianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nelle Tabella 2.16.

Tabella 2.16 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 30	LA_{30}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	≥ 70	$C_{50/30}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	30	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 2.17.

Tabella 2.17 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 50	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	N.P.	-
Limite Liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	≤ 25	-
Blu di Metilene della frazione 0/0,125 mm	UNI EN 933-9	g/kg	≤ 10	MB_{F10}

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati; può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per conglomerati tiepidi deve soddisfare i requisiti indicati in Tabella 2.18.

Tabella 2.18 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B}8/16$

2.2.2.2 CONGLOMERATO RICICLATO

Per conglomerato riciclato si intende quello proveniente dalla frantumazione in frantoio di lastre o blocchi di conglomerato demolito con sistemi tradizionali, oppure dalla fresatura in situ eseguita con idonee macchine (preferibilmente a freddo). Per ogni lavorazione, le percentuali in peso di materiale fresato definito di “integrazione”, riferite al totale della miscela degli inerti, devono essere comprese nei limiti riportati nella Tabella 2.19. Per il confezionamento di strati di base può essere utilizzato conglomerato riciclato di qualsiasi provenienza (usura, binder, base).

La percentuale e la provenienza del conglomerato riciclato da impiegare deve essere obbligatoriamente dichiarata nello studio di progetto della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Tabella 2.19 Composizioni indicative dei formulati per conglomerati tiepidi per strati di base

Materiali freschi (% di impiego nella miscela)	Materiali fresati (% di impiego nella miscela)
≥ 70	< 30

2.2.2.3 LEGANTE

Il legante utilizzato per il confezionamento di conglomerati tiepidi per strati base è costituito da due tipi di leganti bituminosi: tipo A “molle” e tipo B “duro”. Entrambi dovranno essere di tipo stradale (secondo la norma UNI EN 12591:2002) e tali da garantire il rispetto delle prestazioni del conglomerato bituminoso riportate di seguito.

La loro accettazione sarà comunque vincolata al rispetto delle caratteristiche riportate in Tabella 2.20.

Tabella 2.20 Requisiti del bitume per conglomerati tiepidi per strati di base

Tipo di Legante	Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Bitume tipo A “molle”	Viscosità cinematica a 60°C	UNI EN 12595	mm ² /s	8000 - 16000
Bitume tipo B “duro”	Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	35 - 50
	Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	50 - 58

La scelta della percentuale da utilizzare del legante tipo A “molle” e tipo B “duro” sarà decisa in fase di progetto della miscela; i dosaggi saranno stabiliti su base sperimentale in funzione delle caratteristiche e prestazioni finali previste per la miscela.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

2.2.3 MISCELA

2.2.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La composizione indicativa della miscela per la realizzazione di conglomerati tiepidi per strati di base è riportata nella Tabella 2.19. La miscela degli aggregati di primo impiego e del conglomerato da riciclare, da adottarsi per gli strati di base, deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 2.21. La percentuale di legante totale (compreso il bitume presente nel conglomerato da riciclare), riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella Tabella 2.21.

La quantità di bitume nuovo di effettivo impiego e la percentuale del componente tipo A “molle” e tipo B “duro” devono essere determinate mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31 ed in funzione delle caratteristiche e prestazioni finali previste per la miscela. Le caratteristiche richieste per gli strati di base in conglomerato tiepido sono riportate nella Tabella 2.22, Tabella 2.23.

Tabella 2.21 Requisiti granulometrici delle miscele di aggregati

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	31,5	100
Staccio	20	70 – 95
Staccio	12,5	45 – 70
Staccio	8	35 – 58
Staccio	4	27 – 45
Staccio	2	20 – 35
Staccio	0,5	7 – 21
Staccio	0,25	4 – 15
Staccio	0,125	4 – 10
Staccio	0,063	4 – 8
% di bitume		4,0 – 5,0

Tabella 2.22 Requisiti della miscela di conglomerato tiepido per strati di base studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	150
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	10 – 14
Vuoti a 100 rotazioni (*)(**)	%	3 – 5
Vuoti a 180 rotazioni (*)	%	≥ 2

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 100 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

Tabella 2.23 Requisiti meccanici della miscela di conglomerato tiepido per strati di base studiata con metodo volumetrico

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	0,8 – 1,4
Coefficiente di trazione indiretta CTI ³ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	50 – 300
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 75

(***) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria

Sui provini confezionati al 100% della D_G deve essere sperimentalmente determinato un opportuno parametro di rigidezza (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve soddisfare le prescrizioni per esso indicate nel progetto della pavimentazione ed ha la funzione di costituire il riferimento per i controlli alla stessa. In mancanza di specifiche indicazione del progetto il modulo di rigidezza a

³ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

20°C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) dovrà soddisfare i valori riportati in Tabella 2.24.

Tabella 2.24 Requisiti di rigidezza delle miscele di conglomerato tiepido per strati di base

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valore
Modulo di rigidezza a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C)	MPa	5000 – 10000

2.2.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità delle miscele di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

2.2.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 5 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

2.2.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

2.2.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Saranno accettati soltanto impianti discontinui in cui ogni componente sarà pesato. Gli impianti di produzione avranno piani di vagliatura (reti) attraverso cui gli aggregati saranno ben selezionati e poi pesati, idoneo mescolatore per l'impasto della miscela e numero sufficiente di predosatori.

Si dovranno utilizzare due cisterne per lo stoccaggio dei leganti (A e B); il tipo A sarà mantenuto alla temperatura di circa 120 °C mentre il tipo B a circa 160°C.

Gli aggregati, passando attraverso il cilindro essiccatore, saranno portati ad una temperatura di circa 130-140 °C. Una volta scaricati, insieme al filler, nel mescolatore saranno sottoposti ad un primo stadio di miscelazione con il componente A e successivamente con il componente B, dopo che quest'ultimo ha subito un processo di pseudo-schiumatura in un'apposita camera esterna al mescolatore.

Al fine di garantire il perfetto essiccamento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

Se è previsto l'impiego di conglomerato riciclato, l'impianto deve essere attrezzato per il riscaldamento separato del materiale riciclato ad una temperatura compresa tra 90°C e 110°C.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura.

Si farà uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Lo stoccaggio del conglomerato bituminoso riciclato deve essere al coperto. L'umidità del conglomerato riciclato prima del riscaldamento deve essere comunque inferiore al 4%. Nel caso di valori superiori l'impiego del riciclato deve essere sospeso.

Il tempo di miscelazione sarà stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante. Tale tempo sarà compreso fra 30 e 50 sec e sarà in funzione dell'efficienza dell'impianto.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione dovrà essere compresa tra 120° e 130° C. Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatore, le caldaie e le tramogge degli impianti dovranno essere muniti di termometri (possibilmente ad infrarossi) fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

Altri controlli saranno eseguiti sulla taratura delle bilance.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

L'impresa è tenuta a presentare a sue spese, prima dell'inizio dei lavori, una documentazione che evidensi la riduzione delle emissioni al camino e del consumo energetico dell'essiccatore tra il sistema di produzione tradizionale a caldo dei conglomerati bituminosi e la nuova tecnologia a bassa temperatura. I valori dovranno rientrare nei limiti indicati in Tabella 2.25.

In qualsiasi momento della produzione l'Ente Committente potrà incaricare un Laboratorio qualificato e competente nei riguardi dei processi di produzione a basse temperature, da essa stessa scelto, per la verifica del rispetto dei valori riportati nella Tabella 2.25.

Tabella 2.25 Requisiti ambientali dell'impianto di produzione

Parametro	Riduzione valori registrati tra produzione tradizionale e a bassa temperatura	Unità di misura
CO ₂	Riduzione emissione al camino minima: 30%	Kg/h
SO ₂	Riduzione emissione al camino minima: 25%	Kg/h
NO _x	Riduzione emissione al camino minima: 50%	Kg/h
Consumo energia	Riduzione combustibile tamburo essiccatore: 25%	m ³ /h

2.2.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

La preparazione delle superfici di stesa va eseguita prima della realizzazione di uno strato di conglomerato bituminoso allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. A seconda che lo strato di supporto sia in misto granulare oppure in conglomerato bituminoso la lavorazione corrispondente prenderà il nome rispettivamente di mano di ancoraggio e mano d'attacco.

Per **mano di ancoraggio** si intende l'applicazione di emulsione bituminosa a rottura lenta e bassa viscosità sopra uno strato in misto granulare prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso allo scopo di riempire i vuoti dello strato non legato irrigidendone la parte superficiale e fornendo, al contempo, una migliore adesione per l'ancoraggio del successivo strato in conglomerato bituminoso.

Il materiale da impiegare a tale fine è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica al 55%, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.26, applicata con un dosaggio di bitume residuo almeno pari a 1,0 kg/m².

Per **mano d'attacco** si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60% oppure al 65% di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.26 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella 2.27 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55% di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella Tabella 2.26 e Tabella 2.27 per ciascun tipo di emulsione.

I leganti a base di bitume impiegati per le mani di ancoraggio e di attacco dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 2.26 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani di ancoraggio e di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 2.27 Requisiti delle emulsioni bituminose modificate per mani di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifica UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	$\geq 1,4$	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

2.2.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

I conglomerati tiepidi saranno posti in opera a mezzo di macchine vibrofinitrici, dei tipi approvati dalla D.L., in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento: in ogni caso, le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali. Il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare compresa tra 95 – 105 °C.

Qualora la temperatura risultasse superiore il materiale dovrà permanere in cantiere sui mezzi di trasporto fino alla temperatura prevista ovvero compresa tra 95 – 105 °C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e comunque a temperatura compresa tra 95 – 105 °C e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con rulli gommati di idoneo peso, rulli metallici o tandem.

Dovrà essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 10 t per le operazioni di finitura dei giunti e riprese.

Al termine della compattazione lo strato di base dovrà avere una densità uniforme in tutto lo spessore; la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

Si potrà procedere alla stesa della miscela bituminosa dello strato di base solo dopo che sia stata accertata, da parte della Direzione Lavori, la rispondenza della fondazione ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

2.2.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati tiepidi e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in sito.

2.2.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego e del conglomerato da riciclare (fresato) deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 2.28.

Tabella 2.28 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitumi componenti	Cisterna	Tabella 2.20
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 2.16
Aggregato fine	Impianto	Tabella 2.17
Filler	Impianto	Tabella 2.18

2.2.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il numero dei prelievi da eseguire è riportato in Tabella 2.29. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

- il modulo di rigidezza E (UNI EN 12697-26 allegato C) a 20 °C e rise-time=125 ms.

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 2.2.3.

Tabella 2.29 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Percentuale di bitume e granulometria degli aggregati risultanti dallo studio della miscela
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Modulo di rigidezza E risultante dallo studio della miscela con una tolleranza di $\pm 20\%$ e comunque all'interno dei limiti di progetto Tabella 2.24

2.2.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il numero di carote da prelevare è riportato nella Tabella 2.30.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 2.30 Controlli prestazionali sugli strati finiti

TIPO DI CAMPIONE O DI PROVA	UBICAZIONE PRELIEVO O DELLA PROVA	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	\leq % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Qualora i valori dei vuoti, determinati sulle carote, risultassero superiori a quelli previsti al 0 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell'importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per ogni tratto omogeneo di stesa, lo spessore dello strato verrà determinato facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere quello previsto nel progetto.

Qualora gli spessori medi risultassero inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

2.3 STRATI DI BASE OTTENUTI DAL RICICLAGGIO A FREDDO CON EMULSIONE E CEMENTO DI CONGLOMERATI FRESATI

2.3.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

Il conglomerato bituminoso ottenuto per impasto del fresato stradale a temperatura ambiente con emulsione bituminosa e cemento viene realizzato mediante idonee attrezzature che consentano di impastare, stendere e compattare la miscela costituita dal conglomerato bituminoso preesistente, rielezionato granulometricamente, per correggere l'aumento di parti fini generate dalla fresatura stradale, eventuali inerti di integrazione, emulsione bituminosa modificata, acqua, cemento ed eventuali additivi. L'utilizzo dell'emulsione di bitume modificato per il confezionamento di queste miscele permette di ottenere conglomerati bituminosi con una duttilità tale da avere un comportamento a fatica assimilabile a quello di un conglomerato bituminoso tradizionale a caldo. Tali miscele si utilizzano per realizzare strati di base aventi spessore maggiore o uguale a 10 cm.

2.3.2 QUALIFICA DEI MATERIALI

2.3.2.1 MATERIALE DA RICICLARE

Per materiale da riciclare si deve intendere quello proveniente dalla demolizione, anche parziale, della pavimentazione preesistente, eseguita con idonee macchine fresatrici. Per la realizzazione dello strato di base può essere utilizzato conglomerato bituminoso fresato di qualsiasi provenienza; sarà da preferirsi il fresato proveniente dalla demolizione dell'intero strato, privato dei primi centimetri componenti lo strato di usura.

Saranno utilizzabili anche materiali fresati dagli strati superiori della preesistente fondazione; in tal caso occorrerà verificare l'assenza di frazioni plastiche (limi, argille) che andranno allontanate qualora presenti.

Prima del suo reimpiego, il materiale da riciclare deve essere vagliato per eliminare eventuali elementi (grumi, placche, ecc.) di dimensioni maggiori del diametro massimo previsto per la miscela, tali elementi potranno essere reimpiegati previa frantumazione all'interno di idoneo mulino; la miscela composta dal conglomerato da riciclare e dagli aggregati di primo impiego dovrà verificare la rispondenza alle prescrizioni granulometriche ante e post estrazione di bitume (UNI EN 933-1:1999, UNI EN 12697-2:2008) indicate nei fusi riportati in Tabella 2.31. Le percentuali di materiale da riciclare, sia provenienti da strati di conglomerato bituminoso sia dalla fondazione, devono essere obbligatoriamente dichiarate nello studio preliminare della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare prima dell'inizio dei lavori.

Tabella 2.31 Requisiti granulometrici della miscela di aggregati

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso (%)	
		Ante - estrazione	Post - estrazione
Staccio	40	100	—
Staccio	31,5	85 – 100	100
Staccio	20	65 – 95	95 – 100
Staccio	12,5	50 – 80	80 – 95
Staccio	6,3	30 – 60	50 – 80
Staccio	4	25 – 50	35 – 65
Staccio	2	15 – 35	20 – 45
Staccio	1	10 – 25	15 – 30
Staccio	0,5	5 – 15	10 – 25

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso (%)	
		Ante - estrazione	Post - estrazione
Staccio	0,063	1 - 5	3 - 9

2.3.2.2 INERTI D'INTEGRAZIONE

Qualora la curva granulometrica del materiale da riciclare non consenta la realizzazione della curva di progetto si dovrà operare mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nei fusi di Tabella 2.31.

Gli inerti d'integrazione risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi e degli aggregati fini e devono essere conformi a quanto riportato nelle Tabella 2.32 e Tabella 2.33. La quantità complessiva di inerti non ricoperti da bitume (fondazione e inerti d'integrazione) dovrebbe, preferibilmente essere la minima possibile compatibilmente con il rispetto dei requisiti granulometrici e comunque non deve superare il 30% in peso della miscela.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondeggianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 2.32.

Tabella 2.32 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 30	LA_{30}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	30	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 2.33.

Tabella 2.33 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 50	-

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	N.P.	-
Limite Liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	≤ 25	-
Blu di Metilene della frazione 0/0,125 mm	UNI EN 933-9	g/kg	≤ 10	MB _F 10

2.3.2.3 BITUME

Il bitume finale deve essere costituito da quello presente nel materiale fresato integrato con quello proveniente dall'emulsione bituminosa cationica sovrastabilizzata formulata con bitume modificato con polimeri SBR.

L'emulsione deve rispondere alle caratteristiche indicate nella Tabella 2.34.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 2.34 Caratteristiche dell'emulsione bituminosa

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 58	Classe 5
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	35 - 80	Classe 4
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	≥ 220	Classe 7
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 75	Classe 2
Cement mix	UNI EN 12848	g	≤ 2	Classe 2
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Force Ductility Test a 5°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 2	Classe 3
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 50	Classe 4

2.3.2.4 CEMENTO

E' da considerarsi un additivo catalizzatore di processo, importante per regolare i tempi di rottura dell'emulsione che divengono più o meno critici in relazione al tipo di applicazione.

Nel riciclaggio a freddo deve essere impiegato cemento con classe di resistenza 32,5 N, appartenente ad uno dei seguenti tipi, elencati nella norma UNI EN 197-1/2001 :

- CEM I (cemento Portland);
- CEM III (cemento d'altoforno);
- CEM IV (cemento pozzolanico).

I cementi utilizzati dovranno rispondere ai requisiti previsti dalla L. 595/65. Ai fini dell'accettazione, prima dell'inizio dei lavori, i cementi utilizzati dovranno essere controllati e certificati come previsto dal DPR 13/9/93 n. 246 e dal D.M. 12/07/93 n. 315. Tale certificazione sarà rilasciata dall'Istituto Centrale per la Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia (I.C.I.T.E.), o da altri organismi autorizzati ai sensi del D.M. 12/07/93 n. 315.

2.3.2.5 ACQUA

Deve essere impiegata acqua pura ed esente da sostanze organiche

2.3.3 MISCELA

2.3.3.1 STUDIO DELLA MISCELA DI PROGETTO

La formulazione della miscela (granulometria del materiale da riciclare e degli inerti d'integrazione, percentuale di emulsione bituminosa, di cemento e di acqua) deve essere ottenuta mediante uno specifico studio che preveda:

- prelievo, mediante fresatrice, sulla tratta interessata dai lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio degli stessi, di materiale sciolto fresato per la determinazione della curva granulometrica (UNI EN 933-1) ante e post-estrazione del bitume, della percentuale di bitume (UNI EN 12697-1). Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 5000 m² di fascia stesa ed in caso di disomogeneità della miscela, intensificate.
- Definizione della curva granulometrica di progetto con previsione di eventuale aggiunta di inerti d'integrazione. La curva granulometrica della miscela finale deve essere compresa nel fusi riportati in Tabella 2.31 e avere andamento continuo. Dopo la compattazione devono essere eseguiti controlli granulometrici per correggere eventuali variazioni.
- Determinazione della massima densità della miscela di progetto mediante la preparazione di campioni di miscela essiccata (granulometria di progetto) del peso di 4500g (comprensivo di una percentuale di cemento pari a circa al 2%) con quantità crescenti di acqua dell'1,0% in peso; con il materiale di ogni campione si confezionano provini utilizzando la pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31 con le condizioni di prova riportate in Tabella 2.35 e si determina la massa volumica secca geometrica ottenuta per ogni provino; la costruzione della curva della massa volumica secca in funzione dell'umidità consente di individuare la percentuale di acqua corrispondente alla massa volumica massima.
- Determinazione della percentuale ottimale di emulsione e di cemento: utilizzando la pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31, con le condizioni di prova riportate in Tabella 2.35, si confezionano provini di miscela essiccata (granulometria di progetto) con quantità crescenti di emulsione bituminosa, cemento e acqua come specificato nella Tabella 2.36, facendo in modo che la percentuale di umidità dell'impasto w , determinata considerando la quantità di acqua e emulsione, non sia mai superiore a quella corrispondente alla massa volumica massima dell'impasto.

Tabella 2.35 Condizioni di prova per la preparazione dei provini

Velocità di rotazione	30 rotazioni al minuto
Pressione verticale	600 kPa
Dimensioni provino	150 mm
N° giri	180
Peso campione	4500 g comprensivo di cemento e acqua

Tabella 2.36 Serie di provini da confezionare

Cemento %	1,5			2,0			2,5		
Bitume % proveniente dall'emulsione	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5
Umidità % complessiva	w-2%	w-1%	w	w-2%	w-1%	w	w-2%	w-1%	w
Provini n°	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Prima di iniziare la maturazione, i provini devono essere messi a sgocciolare fin quando il contenuto d'acqua si è ridotto al 50% di quello iniziale. Ciascuna serie di provini così confezionata deve subire una maturazione a 40 °C per 72h e successivamente essere utilizzata per le seguenti prove:

- n.ro 2 provini per la determinazione della massa volumica secca geometrica di riferimento a 180 giri (indicata nel seguito con D_G);
- n.ro 4 provini per la determinazione della resistenza a trazione indiretta a 25 °C dopo termostatazione per 4 ore in forno a 25 °C.

La miscela ottimale deve rispondere ai requisiti riportati in Tabella 2.37.

Tabella 2.37 Requisiti della miscela ottimale

Requisiti meccanici	Normativa	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C a 72 h di maturazione	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 0,3
Coefficiente di trazione indiretta CTI ⁴ a 25 °C a 72 h di maturazione	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 60

(*) velocità di avanzamento della pressa pari a 0,423 mm/s

Con la miscela ottimale, ottenuta in base ai risultati delle prove eseguite sui provini maturati per 72 ore a 40 °C, si devono confezionare altri 6 provini (maturati nelle medesime condizioni sopra descritte) per le seguenti ulteriori determinazioni:

- n.ro 3 provini per la perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio. La resistenza a trazione indiretta deve risultare almeno il 75% di quella ottimale;
- n.ro 3 provini per la determinazione del modulo di rigidezza (valore assoluto) a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve risultare maggiore di 3000 MPa.

Per l'individuazione dei tempi di apertura al traffico, sulla miscela ottimale devono essere confezionati con le stesse modalità di cui sopra 3 serie di 3 provini da sottoporre a maturazione per 24h, 72h e 168h a 20 °C e rotti con sistema diametrale a 25 °C (dopo termostatazione per 4 ore in forno a 25 °C). I requisiti richiesti sono riportati in Tabella 2.38.

Tabella 2.38 Requisiti della miscela ottimale per l'individuazione dei tempi di apertura al traffico

Requisiti meccanici	Normativa	Unità di misura	Valori		
			24 h maturazione	72 h maturazione	168 h maturazione
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 0,20	≥ 0,25	≥ 0,30
Coefficiente di trazione indiretta CTI a 25 °C	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 20	≥ 25	≥ 30

(*) velocità di avanzamento della pressa pari a 0,423 mm/s

⁴ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

2.3.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

L'Impresa è tenuta a presentare alla D.L. la composizione della miscela che intende adottare. La composizione proposta deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati.

Una volta accettata dalla D.L. la composizione granulometrica di progetto, non saranno ammesse variazioni delle singole percentuali dei trattenuti di ± 10 per i materiali riciclati e di ± 5 per gli aggregati d'integrazione. Per la percentuale di emulsione bituminosa (determinata per differenza tra la quantità di legante complessivo e la quantità di bitume contenuta nel fresato) non deve essere tollerato uno scostamento da quella di progetto di $\pm 0,25\%$. Tali valori dovranno essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate al momento della stesa, come pure dalle carote prelevate in sito.

2.3.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

Il riciclaggio a freddo deve essere realizzato mediante un "treno" di riciclaggio costituito da: macchina fresatrice, impianto di vagliatura e miscelazione semovente, vibrofinitrice e rulli.

In alternativa all'impianto di riciclaggio semovente, per il confezionamento della miscela potrà essere utilizzato un impianto mobile da installare in cantiere.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare la miscela rispondente a quella indicata nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

La posa in opera dei conglomerati riciclati a freddo viene effettuata con macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

La miscela appena stesa deve essere immediatamente compattata mediante rulli con ruote metalliche vibranti e/o combinati, di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili.

Al termine della compattazione il grado di addensamento G^5 della miscela in sito non dovrà essere inferiore al 98%.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

La rullatura si riterrà terminata quando l'acqua contenuta nello strato sarà risalita in superficie.

Il riciclaggio a freddo deve essere sospeso con temperatura dell'aria inferiore ai 10°C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Lo spessore finito dello strato non dovrà essere superiore a 15 cm. Spessori più alti saranno accettati purché sia presente una certa drenabilità dei supporti (per lo smaltimento delle acque in eccesso) e siano usate macchine con mescolatori abbastanza capienti per consentire il raggiungimento di buone miscelazioni anche alle profondità più elevate di 15 cm.

L'apertura alle successive lavorazioni e/o al traffico va valutata di volta in volta.

2.3.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità delle miscele riciclate a freddo e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio e in sito. Le prove di laboratorio interesseranno i materiali

⁵ Grado di addensamento: $G = \frac{D_S}{D_G} \cdot 100$

dove:

G = grado di addensamento espresso in %

D_S = massa volumica secca della miscela in sito

D_G = massa volumica secca della miscela di progetto

costituenti, la miscela prelevata allo stato fresco al momento della stesa e le carote estratte dalla pavimentazione.

2.3.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

L'ubicazione dei prelievi da eseguire anche sugli aggregati di integrazione, sul misto riciclato e sul bitume sono riportati nella Tabella 2.39 salvo diversa e documentata prescrizione da parte della Direzione Lavori. I requisiti da rispettare sono riportati nella stessa tabella.

Tabella 2.39 Controllo dei materiali e verifica prestazionale

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Aggregati di integrazione	Autocarro	Tabella 2.32 Tabella 2.33
Misto riciclato	Fresatrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela
Miscela riciclata	Miscelatrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela
Bitume	Autobotte	Tabella 2.34

2.3.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA IN FASE DI POSA IN OPERA

Il prelievo della miscela riciclata avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Sui campioni preparati entro due ore dal momento del prelievo del materiale dalla miscelatrice saranno effettuati, da un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i controlli della distribuzione granulometrica della miscela (riciclato e inerte di integrazione), della massa volumica geometrica a 180 giri nonché della resistenza meccanica (resistenza a trazione indiretta e modulo di rigidezza), da confrontare con quelle della miscela di progetto. I valori rilevati in sede di controllo, determinati come media dei valori di 4 provini, dovranno essere conformi a quelli dichiarati nella documentazione presentata prima dell'inizio dei lavori, ai sensi di quanto previsto al 2.3.3.1.

2.3.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Il livello prestazionale degli strati posti in opera può essere accertato, in relazione alle caratteristiche del materiale impiegato, attraverso il controllo dell'addensamento raggiunto rispetto al riferimento desunto dalle prove di laboratorio con la pressa giratoria e attraverso il controllo dei valori dei moduli e/o della capacità portante. Le misure della massa volumica sono effettuate su carote estratte dallo strato della pavimentazione dopo 15 giorni dalla stesa. A compattazione ultimata, il grado di addensamento G della miscela in situ non dovrà essere inferiore al 98% rispetto alla miscela di progetto dichiarata prima dell'inizio dei lavori.

Portanza

La misura della portanza deve accertare che le prestazioni dello strato finito siano non inferiori a quelle previste nel Progetto della sovrastruttura. La metodologia di indagine impiegata dovrà essere tale da fornire, parametri di controllo identici, o comunque direttamente confrontabili, con quelli utilizzati nel calcolo della pavimentazione.

A tale scopo, saranno eseguite prove di deflessione dinamica ad elevato rendimento con il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96) per la determinazione del modulo elastico M_{ed} in condizioni dinamiche. Sono ammesse sia prove effettuate direttamente sullo strato, sia prove effettuate sullo strato ricoperto.

Le prove di deflessione dinamica verranno interpretate per il calcolo del valore del modulo elastico dinamico mediante un programma di retrocalcolo di provata affidabilità e preventivamente accettato

da parte della D.L.. Il valore del modulo elastico dinamico dopo 90 giorni di maturazione dovrà essere riportato alla temperatura di riferimento del conglomerato di 20 °C utilizzando le curve maestre ottenute sulle miscele di laboratorio.

Per prove eseguite direttamente sullo strato riciclato, i valori della tensione trasmessa dalla piastra dovranno essere prossimi a 600 kPa, mentre per prove eseguite sullo strato ricoperto i valori della tensione trasmessa dalla piastra dovranno essere maggiori di 800 kPa e comunque tale da produrre deflessioni al di sotto della piastra maggiori di 250 µm.

Le misure di F.W.D. verranno effettuate al massimo ogni 10 m di corsia per aver a disposizione un campione di dati di ampiezza statisticamente accettabile. Per ciascuna tratta con tipo di intervento omogeneo, il numero di prove da eseguire, perché il campione abbia una ampiezza statisticamente accettabile, non deve essere inferiore a 12, qualsiasi sia la sua lunghezza.

Per la valutazione delle caratteristiche strutturali si farà riferimento al valore medio del modulo elastico dinamico espresso in MPa, ricavato dai valori risultanti dalle misure puntuali di F.W.D., relativo a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere l'intera lunghezza di stesa. Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 12 punti di misura e nei quali i valori dei moduli elastici dinamici sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee saranno individuate con metodi statistici. Sarà possibile determinare con buona affidabilità i valori del modulo elastico in condizioni dinamiche solo nel caso di spessori in opera dello strato maggiori a 13 cm. I valori del modulo elastico dinamico M_{ed} a 20°C calcolati non dovranno essere inferiori ai valori limite riportati nella Tabella 2.40 in funzione dei diversi tempi di maturazione.

Tabella 2.40 Requisiti prestazionali dello strato finito

TEMPO DI MATURAZIONE	MODULO ELASTICO (Mpa)
Da 12 a 24 ore	700
Da 24 a 48 ore	1000
Dopo 90 giorni	3500

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per le prove deflettometriche ad alto rendimento la media dei valori del modulo elastico M_{ed} dopo 90 giorni di maturazione, ricavato da almeno 12 determinazioni, non deve essere inferiore al valore limite. Può essere tollerato uno scostamento da tale valore minimo purché lo scostamento stesso non ecceda il 10%; per valori del modulo inferiori a tale limite verrà applicata una detrazione dell'2,5% del prezzo di elenco per ogni punto percentuale di carenza al di sotto di tale limite fino ad un valore minimo del modulo pari al 70% di quello iniziale: valori inferiori a tale limite comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Per valori del grado di addensamento G inferiori a quelli previsti in 2.3.4 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell'importo dello strato per ogni 0,5% di grado di addensamento G inferiore al 98% fino ad un valore minimo del 94%; valori del grado di addensamento G inferiori al 94% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Le superfici finite devono risultare perfettamente regolari, con scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 20 mm, controllati mediante regolo rigido di 4 m di lunghezza (Norma UNI EN 13036-7/2004) disposto secondo due direzioni ortogonali.

Lo spessore medio dello strato finito deve essere quello previsto nel Progetto, con una tolleranza del 5% purché tale differenza si presenti solo nel 20% dei rilievi effettuati.

Lo spessore dello strato viene determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i

valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Per spessori medi inferiori a quelli di progetto viene applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 10% del prezzo di elenco per ogni cm di materiale mancante oltre la tolleranza. Per carenze superiori al 20% dello spessore di progetto si impone la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

2.4 STRATI DI BASE OTTENUTI DA STABILIZZAZIONE CON BITUME SCHIUMATO E CEMENTO DI MATERIALI PROVENIENTI DALLA PAVIMENTAZIONE ESISTENTE

2.4.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

La stabilizzazione in situ dei materiali provenienti dagli strati della pavimentazione esistente viene realizzata mediante idonee attrezzature che consentano di miscelare il materiale bituminoso fresato e la fondazione esistente, sia legata sia stabilizzata granulometricamente, con aggiunta di bitume schiumato, cemento, acqua e, se necessario, inerti freschi, nonché di omogeneizzare, stendere e compattare la miscela così ottenuta. Questa lavorazione consente di stabilizzare il materiale preesistente con l'obiettivo di migliorarne le proprietà meccaniche e ripristinare l'integrità strutturale della pavimentazione. L'utilizzo del bitume schiumato per il confezionamento di queste miscele permette di ottenere conglomerati bituminosi con un comportamento a fatica intermedio tra quello di un misto cementato e quello di un conglomerato bituminoso tradizionale a caldo. Tali miscele si utilizzano per realizzare strati di base aventi spessore maggiore o uguale a 15 cm.

2.4.2 QUALIFICA DEI MATERIALI

2.4.2.1 MATERIALE DA STABILIZZARE

Per materiale da stabilizzare si deve intendere quello proveniente dalla demolizione, anche parziale, della pavimentazione preesistente, eseguita con idonee macchine fresatrici. Per la realizzazione dello strato di base può essere utilizzato conglomerato bituminoso fresato di qualsiasi provenienza; sarà da preferirsi il fresato proveniente dalla demolizione dell'intero strato, privato dei primi centimetri componenti lo strato di usura.

Saranno utilizzabili anche materiali fresati dagli strati superiori della preesistente fondazione; in tal caso occorrerà verificare l'assenza di frazioni plastiche (limi, argille) che andranno allontanate qualora presenti.

Prima del suo reimpiego, il materiale da stabilizzare deve essere vagliato per eliminare eventuali elementi (grumi, placche, ecc.) di dimensioni maggiori al diametro massimo previsto per la miscela, tali elementi potranno essere reimpiegati previa frantumazione all'interno di idoneo mulino; la miscela composta dal conglomerato da riciclare e dagli aggregati di primo impiego dovrà verificare la rispondenza alle prescrizioni granulometriche (UNI EN 933-1:1999) indicate nel fuso riportato in Tabella 2.41. Le percentuali di materiale da stabilizzare proveniente da strati di conglomerato bituminoso e dalla fondazione devono essere obbligatoriamente dichiarate nello studio preliminare della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare prima dell'inizio dei lavori.

Tabella 2.41 Requisiti granulometrici della miscela di aggregati

Serie stacci UNI (mm)	Passante totale in peso (%)
Staccio	50
Staccio	31,5
Staccio	20
Staccio	12,5
Staccio	8
Staccio	4
Staccio	2
Staccio	0,5
Staccio	0,063

2.4.2.2 INERTI D'INTEGRAZIONE

Qualora la curva granulometrica del materiale da riciclare non consenta la realizzazione della curva di progetto si dovrà operare mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso di Tabella 2.41.

Gli inerti d'integrazione risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi e degli aggregati fini e devono essere conformi a quanto riportato nelle Tabella 2.42 e Tabella 2.43. La quantità complessiva di inerti non ricoperti da bitume (fondazione e inerti d'integrazione) dovrebbe, preferibilmente essere la minima possibile compatibilmente con il rispetto dei requisiti granulometrici e comunque non deve superare il 30% in peso della miscela.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondeggianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 2.42.

Tabella 2.42 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 30	LA_{30}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	50	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 2.43.

Tabella 2.43 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 50	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	N.P.	-
Limite Liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	%	≤ 25	-
Blu di Metilene della frazione 0/0,125 mm	UNI EN 933-9	g/kg	≤ 10	MB_{F10}

2.4.2.3 BITUME SCHIUMATO

La “schiuma di bitume” è prodotta dalle reazioni fisiche di un bitume 80-100, denominato di “base modifica” e avente le caratteristiche riportate in [Tabella 2.44](#), mediante la polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all’interno di una particolare camera di espansione mediante il contatto del bitume a circa 180 °C con acqua ad alta pressione.

Il bitume da impiegare deve avere caratteristiche e prestazioni tali da garantire al prodotto finito i parametri di seguito richiesti. Esso deve rispondere alle prescrizioni riportate in [Tabella 2.45](#).

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all’appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 2.44 Caratteristiche del bitume 70-100 “base modifica”

Parametro	Normativa	Unità di misura	Tipo 70/100 UNI EN 12591
<i>Requisiti essenziali</i>			
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	70 - 100
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	43 – 51
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%
	Incremento del punto di rammollimento - <i>Severità 1</i>	UNI EN 1427	°C
	Incremento del punto di rammollimento - <i>Severità 2</i> ^(*)	UNI EN 1427	°C
	Variazione di massa	-	%
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 230
Solubilità	UNI EN 12592	%	≥ 99,0
<i>Altre proprietà</i>			
Indice di penetrazione ^(*)	UNI EN 12591	-	da -1,5 a +0,7
Viscosità dinamica a 60°C	UNI EN 12596	Pa·s	≥ 90
Punto di rottura (Fraass) ^(*)	UNI EN 12593	°C	≤ -10
Viscosità cinematica a 135°C	UNI EN 12595	mm ² /s	≥ 230

^(*) Se si seleziona la *Severità 2*, essa deve essere associata ai requisiti relativi al punto di rottura Fraass o all’indice di penetrazione o ad entrambi

Tabella 2.45 Requisiti del bitume schiumato

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valore
Rapporto di espansione ^(*)	Wirtgen		≥ 10
Tempo di semitrasformazione ^(**)	Wirtgen	sec	≥ 13
^(*) Le caratteristiche di espansione ottimali del bitume devono essere determinate in un campo di temperature variabile tra 170 e 190 °C (prima dell’espansione), e con percentuali di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume.			
^(**) Tempo necessario per dimezzare l’espansione del bitume			

2.4.2.4 CEMENTO

L’aggiunta di cemento favorisce la dispersione del bitume, in particolare quando il materiale da stabilizzare presenti una carenza di fini (passante allo 0,063 mm inferiore al 5%). Deve essere

comunque evitata l'aggiunta di cemento in quantità superiore al 2,5% in massa per evitare un'eccessiva rigidezza della miscela stabilizzata; inoltre, il cemento deve essere aggiunto contemporaneamente al bitume schiumato.

Nella stabilizzazione deve essere impiegato cemento con classe di resistenza 32,5 N, appartenente ad uno dei seguenti tipi, elencati nella norma UNI EN 197-1/2001 :

- CEM I (cemento Portland);
- CEM III (cemento d'altoforno);
- CEM IV (cemento pozzolanico).

I cementi utilizzati dovranno rispondere ai requisiti previsti dalla L. 595/65. Ai fini dell'accettazione, prima dell'inizio dei lavori, i cementi utilizzati dovranno essere controllati e certificati come previsto dal DPR 13/9/93 n. 246 e dal D.M. 12/07/93 n. 315. Tale certificazione sarà rilasciata dall'Istituto Centrale per la Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia (I.C.I.T.E.), o da altri organismi autorizzati ai sensi del D.M. 12/07/93 n. 315.

2.4.2.5 ACQUA

Deve essere impiegata acqua pura ed esente da sostanze organiche

2.4.3 MISCELA

2.4.3.1 STUDIO DELLA MISCELA DI PROGETTO

La formulazione della miscela (granulometria del materiale da stabilizzare e degli inerti d'integrazione, percentuale di bitume schiumato, di cemento e di acqua) deve essere ottenuta mediante uno specifico studio che preveda:

- prelievo, mediante fresatrice, sulla tratta interessata dai lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio degli stessi, di materiale sciolto fresato per la determinazione della curva granulometrica (UNI EN 933-1) senza estrazione del bitume. Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 5000 m² di fascia da stabilizzare ed in caso di disomogeneità della miscela, intensificate.
- Definizione della curva granulometrica di progetto con previsione di eventuale aggiunta di inerti d'integrazione. La curva granulometrica della miscela finale deve essere compresa nel fuso riportato in Tabella 2.41 e avere andamento continuo. Dopo la compattazione devono essere eseguiti controlli granulometrici per correggere eventuali variazioni.
- Determinazione della massima densità della miscela di progetto mediante la preparazione di campioni di miscela essiccata (granulometria di progetto) del peso di 4500g (comprensivo di una percentuale di cemento pari a circa l'1%) con quantità crescenti di acqua dell'1,0% in peso; con il materiale di ogni campione si confezionano provini utilizzando la pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31 con le condizioni di prova riportate in Tabella 2.46 e si determina la massa volumica secca geometrica ottenuta per ogni provino; la costruzione della curva della massa volumica secca in funzione dell'umidità consente di individuare la percentuale di acqua corrispondente alla massa volumica massima.
- Determinazione della percentuale ottimale di bitume schiumato e di cemento: utilizzando la pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31, con le condizioni di prova riportate in Tabella 2.46, si confezionano provini di miscela essiccata (granulometria di progetto) con quantità crescenti di bitume schiumato, cemento e acqua come specificato nella Tabella 2.47, facendo in modo che la percentuale di umidità dell'impasto w non sia mai superiore a quella corrispondente alla massa volumica massima.

Tabella 2.46 Condizioni di prova per la preparazione dei provini

Velocità di rotazione	30 rotazioni al minuto
Pressione verticale	600 kPa
Dimensioni provino	150 mm
N° giri	180
Peso campione	4500 g comprensivo di cemento e acqua

Tabella 2.47 Serie di provini da confezionare

Cemento %	1,5			2,0			2,5		
Bitume schiumato %	2	2	2	3	3	3	4	4	4
Umidità %	w-2%	w-1%	w	w-2%	w-1%	w	w-2%	w-1%	w
Provini n°	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Prima di iniziare la maturazione, i provini devono essere messi a sgocciolare fin quando il contenuto d'acqua si è ridotto al 50% di quello iniziale. Ciascuna serie di provini così confezionata deve subire una maturazione a 40 °C per 72h e successivamente essere utilizzata per le seguenti prove:

- n.ro 2 provini per la determinazione della massa volumica secca geometrica di riferimento a 180 giri (indicata nel seguito con D_G);
- n.ro 4 provini per la determinazione della resistenza a trazione indiretta a 25 °C dopo termostatazione per 4 ore in forno a 25 °C.

La miscela ottimale deve rispondere ai requisiti riportati in Tabella 2.48.

Tabella 2.48 Requisiti della miscela ottimale

Requisiti meccanici	Normativa	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C a 72 h di maturazione	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 0,3
Coefficiente di trazione indiretta CTI ⁶ a 25 °C a 72 h di maturazione	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 60
^(*) velocità di avanzamento della pressa pari a 0,423 mm/s			

Con la miscela ottimale, ottenuta in base ai risultati delle prove eseguite sui provini maturati per 72 ore a 40 °C, si devono confezionare altri 6 provini (maturati nelle medesime condizioni sopra descritte) per le seguenti ulteriori determinazioni:

- n.ro 3 provini per la perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio. La resistenza a trazione indiretta deve risultare almeno il 75% di quella ottimale;
- n.ro 3 provini per la determinazione del modulo di rigidezza (valore assoluto) a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve risultare maggiore di 2500 MPa.

Per l'individuazione dei tempi di apertura al traffico, sulla miscela ottimale devono essere confezionati con le stesse modalità di cui sopra 3 serie di 3 provini da sottoporre a maturazione per 24h, 72h e 168h a 20 °C e rotti con sistema diametrale a 25 °C (dopo termostatazione per 4 ore in forno a 25 °C). I requisiti richiesti sono riportati in Tabella 2.49.

⁶ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

Tabella 2.49 Requisiti della miscela ottimale per l'individuazione dei tempi di apertura al traffico

Requisiti meccanici	Normativa	Unità di misura	Valori		
			24 h maturazione	72 h maturazione	168 h maturazione
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 0,20	≥ 0,25	≥ 0,30
Coeficiente di trazione indiretta CTI a 25 °C	UNI EN 12697-23 ^(*)	N/mm ²	≥ 20	≥ 25	≥ 30

(*) velocità di avanzamento della pressa pari a 0,423 mm/s

2.4.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

L'Impresa è tenuta a presentare alla D.L. la composizione della miscela che intende adottare. La composizione proposta deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati.

Una volta accettata dalla D.L. la composizione granulometrica di progetto, non saranno ammesse variazioni delle singole percentuali dei trattenuti di ± 10 per i materiali riciclati e di ± 5 per gli aggregati d'integrazione. Per la percentuale di bitume schiumato (determinata per differenza tra la quantità di legante complessivo e la quantità di bitume contenuta nel fresato) non deve essere tollerato uno scostamento da quella di progetto di ± 0,25%. Tali valori dovranno essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate al momento della stesa, come pure dalle carote prelevate in situ.

2.4.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

La stabilizzazione in situ deve essere realizzata mediante idonee attrezzature mobili costituite da: macchina fresatrice, impianto di vagliatura e miscelazione semovente (miscelatore a volume variabile), grader, stabilizzatrice e rulli che consentano di miscelare, omogeneizzare e stendere le miscele ottenute.

In alternativa all'impianto di stabilizzazione in situ, per il confezionamento della miscela potrà essere utilizzato un impianto mobile da installare in cantiere.

La posa in opera della miscela deve essere effettuata possibilmente con una sola passata (con macchine a tutta larghezza) per evitare il giunto longitudinale e problemi di planarità della superficie, mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgrannamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi; nel caso di uso di stabilizzatrici più strette della larghezza da trattare, si dovrà operare in due o più passate, curando una certa sovrapposizione (per qualche decina di centimetri) delle strisciate contigue; nel caso di uso di fresato accumulato sul fianco del cavo e risteso nel medesimo, dopo asportazione del materiale preesistente, si dovrà operare una sua regolarizzazione con grader e successiva leggera compattazione, prima di operare con la miscelatrice. La miscela consente, se mantenuta umida, tempi di stoccaggio definibili di volta in volta in funzione del cemento presente anche di qualche ora; il materiale appena miscelato deve essere immediatamente compattato mediante un rullo gommato insieme ad un rullo metallico o combinato. In alternativa potranno essere impiegati rulli misti vibranti - gommati. L'idoneità dei mezzi e delle modalità di costipamento verrà determinata dalla D.L. sulla base dei risultati ottenuti durante la stesa delle miscele.

Al termine della compattazione il grado di addensamento G⁷ della miscela in situ non dovrà essere inferiore al 98%.

⁷ Grado di addensamento: $G = \frac{D_s}{D_g} \cdot 100$

dove:

Durante la compattazione, nel caso di temperature elevate, è necessario umidificare il piano per migliorare l'addensamento.

Al termine del costipamento e della rifinitura deve essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione acida al 55% in ragione di 1-2 kg/m². La lavorazione consente dopo compattazione un immediato traffico di cantiere ed in caso di emergenza, per breve tempo, anche il traffico normale.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

La stabilizzazione deve essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore ai 10°C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

2.4.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità delle miscele riciclate a freddo e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio e in situ. Le prove di laboratorio interesseranno i materiali costituenti, la miscela prelevata allo stato fresco al momento della stesa e le carote estratte dalla pavimentazione.

2.4.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

L'ubicazione dei prelievi da eseguire sugli aggregati di integrazione, sul materiale da stabilizzare e sul bitume sono riportati nella Tabella 2.50 salvo diversa e documentata prescrizione da parte della Direzione Lavori. I requisiti da rispettare sono riportati nella stessa tabella.

Tabella 2.50 Controllo dei materiali e verifica prestazionale

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Aggregati di integrazione	Autocarro	Tabella 2.42 Tabella 2.43
Materiale da stabilizzare	Fresatrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela
Miscela da stabilizzare	Stabilizzatrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela
Bitume	Autobotte	Tabella 2.44 Tabella 2.45

2.4.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA IN FASE DI POSA IN OPERA

Il prelievo della miscela stabilizzata avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Sui campioni prelevati dalla stabilizzatrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i controlli della distribuzione granulometrica della miscela (materiale da stabilizzare e inerte di integrazione), della massa volumica geometrica a 180 giri nonché della resistenza meccanica (resistenza a trazione indiretta e modulo di rigidezza), da confrontare con quelle della miscela di progetto. I valori rilevati in sede di controllo, determinati come media dei valori di 4 provini, dovranno essere conformi a quelli dichiarati nella documentazione presentata prima dell'inizio dei lavori, ai sensi di quanto previsto al 2.4.3.1.

G = grado di addensamento espresso in %

D_S = massa volumica secca della miscela in situ

D_G = massa volumica secca della miscela di progetto

2.4.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Il livello prestazionale degli strati posti in opera può essere accertato, in relazione alle caratteristiche del materiale impiegato, attraverso il controllo dell'addensamento raggiunto rispetto al riferimento desunto dalle prove di laboratorio con la pressa giratoria e attraverso il controllo dei valori dei moduli e/o della capacità portante. Le misure della massa volumica sono effettuate su carote estratte dallo strato della pavimentazione dopo 30 giorni dalla stessa. A compattazione ultimata, il grado di addensamento G della miscela in situ non dovrà essere inferiore al 98% rispetto alla miscela di progetto dichiarata prima dell'inizio dei lavori.

Portanza

La misura della portanza deve accertare che le prestazioni dello strato finito siano non inferiori a quelle previste nel Progetto della sovrastruttura. La metodologia di indagine impiegata dovrà essere tale da fornire, parametri di controllo identici, o comunque direttamente confrontabili, con quelli utilizzati nel calcolo della pavimentazione.

A tale scopo, saranno eseguite prove di deflessione dinamica ad elevato rendimento con il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96) per la determinazione del modulo elastico M_{ed} in condizioni dinamiche. Sono ammesse sia prove effettuate direttamente sullo strato, sia prove effettuate sullo strato ricoperto.

Le prove di deflessione dinamica verranno interpretate per il calcolo del valore del modulo elastico dinamico mediante un programma di retrocalcolo di provata affidabilità e preventivamente accettato da parte della D.L.. Il valore del modulo elastico dinamico dopo 90 giorni di maturazione dovrà essere riportato alla temperatura di riferimento del conglomerato di 20 °C utilizzando le curve maestre ottenute sulle miscele di laboratorio.

Per prove eseguite direttamente sullo strato stabilizzato, i valori della tensione trasmessa dalla piastra dovranno essere prossimi a 600 kPa, mentre per prove eseguite sullo strato ricoperto i valori della tensione trasmessa dalla piastra dovranno essere maggiori di 800 kPa e comunque tale da produrre deflessioni al di sotto della piastra maggiori di 250 μm .

Le misure di F.W.D. verranno effettuate al massimo ogni 10 m di corsia per aver a disposizione un campione di dati di ampiezza statisticamente accettabile. Per ciascuna tratta con tipo di intervento omogeneo, il numero di prove da eseguire, perché il campione abbia una ampiezza statisticamente accettabile, non deve essere inferiore a 12, qualsiasi sia la sua lunghezza.

Per la valutazione delle caratteristiche strutturali si farà riferimento al valore medio del modulo elastico dinamico espresso in MPa, ricavato dai valori risultanti dalle misure puntuali di F.W.D., relativo a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere l'intera lunghezza di stesa. Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 12 punti di misura e nei quali i valori dei moduli elastici dinamici sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee saranno individuate con metodi statistici. Sarà possibile determinare con buona affidabilità i valori del modulo elastico dinamico solo nel caso di spessori in opera dello strato maggiori a 15 cm. I valori del modulo elastico in condizioni dinamiche M_{ed} a 20°C calcolati non dovranno essere inferiori ai valori limite riportati nella Tabella 2.51 in funzione dei diversi tempi di maturazione.

Tabella 2.51 Requisiti prestazionali dello strato finito

TEMPO DI MATERAZIONE	MODULO ELASTICO (Mpa)
Da 12 a 24 ore	300
Da 24 a 48 ore	500
Dopo 90 giorni	3000

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per le prove deflettometriche ad alto rendimento la media dei valori del modulo elastico M_{ed} dopo 90 giorni di maturazione, ricavato da almeno 12 determinazioni, non deve essere inferiore al valore limite. Può essere tollerato uno scostamento da tale valore minimo purché lo scostamento stesso non ecceda il 10%; per valori del modulo inferiori a tale limite verrà applicata una detrazione dell'2,5% del prezzo di elenco per ogni punto percentuale di carenza al di sotto di tale limite fino ad un valore minimo del modulo pari al 70% di quello iniziale: valori inferiori a tale limite comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa. Per valori del grado di addensamento G inferiori a quelli previsti in 2.4.4 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell'importo dello strato per ogni 0,5% di grado di addensamento G inferiore al 98% fino ad un valore minimo del 94%; valori del grado di addensamento G inferiori al 94% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Le superfici finite devono risultare perfettamente regolari, con scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 20 mm, controllati mediante regolo rigido di 4 m di lunghezza (Norma UNI EN 13036-7/2004) disposto secondo due direzioni ortogonali.

Lo spessore medio dello strato finito deve essere quello previsto nel Progetto, con una tolleranza del 5% purché tale differenza si presenti solo nel 20% dei rilievi effettuati.

Lo spessore dello strato viene determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Per spessori medi inferiori a quelli di progetto viene applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 10% del prezzo di elenco per ogni cm di materiale mancante oltre la tolleranza. Per carenze superiori al 20% dello spessore di progetto si impone la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

3 MISCELE PER STRATI DI BINDER

3.1 STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TRADIZIONALI A CALDO

3.1.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I conglomerati bituminosi a caldo sono miscele, dosate a peso o a volume, costituite da aggregati lapidei di primo impiego, bitume, additivi ed eventualmente conglomerato riciclato.

Essi si distinguono in conglomerati bituminosi “tradizionali”, se confezionati con bitume semisolido (tal quale) e conglomerati bituminosi ad elevate prestazioni, se confezionati con bitume modificato. Tali miscele si utilizzano per realizzare strati di binder aventi spessore maggiore o uguale a 6 cm.

3.1.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

3.1.2.1 AGGREGATI

Gli aggregati lapidei di primo impiego risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fine o di additivazione: tali aggregati, insieme all'eventuale conglomerato riciclato, costituiscono la fase solida dei conglomerati bituminosi.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondegianti, da elementi naturali tondegianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 30	LA_{30}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	≥ 80	$C_{50/30}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	20	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 30	FI_{30}
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima D = 4 mm. Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 3.2.

Tabella 3.2 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 60	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati; può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per conglomerati bituminosi a caldo tradizionali deve soddisfare i requisiti indicati in Tabella 3.3.

Tabella 3.3 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B}8/16$

3.1.2.2 CONGLOMERATO RICICLATO

Per conglomerato riciclato si intende quello proveniente dalla frantumazione in frantoio di lastre o blocchi di conglomerato demolito con sistemi tradizionali, oppure dalla fresatura in situ eseguita con idonee macchine (preferibilmente a freddo). Per ogni lavorazione, le percentuali in peso di materiale fresato definito di “integrazione”, riferite al totale della miscela degli inerti, devono essere comprese nei limiti riportati nella Tabella 3.4. Per il confezionamento di strati di binder può essere utilizzato conglomerato riciclato proveniente da vecchi strati di collegamento ed usura.

La percentuale e la provenienza del conglomerato riciclato da impiegare deve essere obbligatoriamente dichiarata nello studio di progetto della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Tabella 3.4 Composizioni indicative dei formulati per conglomerati bituminosi tradizionali per strati di binder

Materiali freschi (% di impiego nella miscela)	Materiali fresati (% di impiego nella miscela)	Attivanti Chimici Funzionali [A.C.F.] (% in peso riferito al bitume)
≥ 75	< 25	≤ 5

3.1.2.3 LEGANTE

I bitumi sono composti organici costituiti sostanzialmente da miscele di idrocarburi, completamente solubili in solfuro di carbonio e dotati di capacità legante.

I leganti bituminosi semisolidi impiegati senza alcun trattamento sono quei bitumi per uso stradale di normale produzione di raffineria impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi a caldo tradizionali.

Il bitume deve essere del tipo 50/70 con le caratteristiche indicate nella Tabella 3.5.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 3.5 Requisiti del bitume semisolido tal quale per conglomerati bituminosi tradizionali per strati di binder

Parametro	Normativa	Unità di misura	Tipo 50/70 UNI EN 12591
<i>Requisiti essenziali</i>			
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	50 - 70
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	46 - 54
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%
	Incremento del punto di rammollimento - <i>Severità 1</i>	UNI EN 1427	°C
	Incremento del punto di rammollimento - <i>Severità 2</i> ^(*)	UNI EN 1427	°C
	Variazione di massa	-	%
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 230
Solubilità	UNI EN 12592	%	≥ 99,0
<i>Altre proprietà</i>			
Indice di penetrazione ^(*)	UNI EN 12591	-	da -1,5 a +0,7
Viscosità dinamica a 60°C	UNI EN 12596	Pa·s	≥ 145
Punto di rottura (Fraass) ^(*)	UNI EN 12593	°C	≤ -8
Viscosità cinematica a 135°C	UNI EN 12595	mm ² /s	≥ 295

^(*) Se si seleziona la *Severità 2*, essa deve essere associata ai requisiti relativi al punto di rottura Fraass o all'indice di penetrazione o ad entrambi

3.1.2.4 ADDITIVI

Per migliorare le prestazioni dei conglomerati bituminosi si aggiungono agli aggregati o al bitume dei prodotti naturali o artificiali che prendono il nome di additivi.

Attivanti d'adesione

Gli attivanti d'adesione sono additivi tensioattivi che favoriscono l'adesione bitume - aggregato, utilizzati per migliorare la durabilità all'acqua delle miscele bituminose.

Il loro dosaggio va specificato obbligatoriamente nello studio della miscela e può variare a seconda delle condizioni di impiego, della natura degli aggregati e delle caratteristiche del prodotto. La scelta del tipo e del dosaggio di additivo dovrà essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua riportate nelle Tabella 3.1 e Tabella 3.9. L'attivante di adesione scelto deve presentare, in ogni caso, caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180 °C) per lunghi periodi (15 giorni). Per immettere le sostanze tensioattive nel bitume devono essere impiegate attrezzature idonee, al fine di garantire l'esatto dosaggio e la loro perfetta dispersione nel legante bituminoso.

La presenza ed il dosaggio degli attivanti d'adesione nel bitume vengono verificati mediante la prova di separazione cromatografica su strato sottile.

Attivanti chimici funzionali

Gli attivanti chimici funzionali (ACF) sono prodotti studiati appositamente per migliorare la tecnologia del riciclaggio e/o l'impiego di riciclati in miscele tradizionali. Essi sono impiegati per

rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato contenuto nel conglomerato bituminoso da riciclare e devono avere le caratteristiche chimico-fisiche riportate nella Tabella 3.6. Il dosaggio varia in funzione della percentuale di conglomerato riciclato e delle caratteristiche del bitume in esso contenuto e può essere determinato utilizzando la procedura riportata nella nota ⁸.

Tabella 3.6 Requisiti degli Attivanti Chimici Funzionali (ACF)

Attivanti Chimici Funzionali (ACF)			
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Densità a 25/25°C	ASTM D - 1298		0,900 - 0,950
Punto di infiammabilità v.a.	ASTM D - 92	°C	200
Viscosità dinamica a 160°C, $\gamma = 10\text{ s}^{-1}$	SNV 671908/74	Pa s	0,03 - 0,05
Solubilità in tricloroetilene	ASTM D - 2042	% in peso	99,5
Numero di neutralizzazione	IP 213	mg/KOH/g	1,5-2,5
Contenuto di acqua	ASTM D - 95	% in volume	1
Contenuto di azoto	ASTM D - 3228	% in peso	0,8 - 1,0

3.1.3 MISCELA

3.1.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La composizione indicativa della miscela di tipo tradizionale per strati di binder è riportata nella Tabella 3.4. La miscela degli aggregati di primo impiego e del conglomerato da riciclare, da adottarsi per gli strati di binder, deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 3.7. La percentuale di legante totale (compreso il bitume presente nel conglomerato da riciclare attivato con ACF), riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella.

La quantità di bitume nuovo di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31. Le caratteristiche richieste per gli strati di binder in conglomerato bituminoso sono riportate nella Tabella 3.8, Tabella 3.9.

⁸ La quantità di ACF da impiegare dipende dalla percentuale teorica del bitume nuovo da aggiungere che si determina mediante la seguente espressione:

$$Pn = Pt - (Pv \times Pr)$$

dove

Pn = percentuale di legante nuovo da aggiungere riferita al totale degli inerti;

Pt = percentuale totale di bitume nella miscela di inerti nuovi e conglomerato di riciclo;

Pv = percentuale di bitume vecchio (preesistente) riferita al totale degli inerti;

Pr = frazione di conglomerato riciclato rispetto al totale della miscela.

Il valore di Pt viene determinato con l'espressione:

$$Pt = 0,035 a + 0,045 b + cd + f$$

dove:

Pt = % di bitume in peso riferita alla miscela totale, espressa come numero intero;

a = % di aggregato trattenuto allo staccio UNI 2 mm;

b = % di aggregato passante allo staccio UNI 2 mm e trattenuto al staccio 0,063 mm;

c = % di aggregato passante allo staccio 0,063 mm;

d = 0,15 per un passante allo staccio 0,063 mm compreso tra 11 e 15;

d = 0,18 per un passante allo staccio 0,063 mm compreso tra 6 e 10;

d = 0,20 per un passante allo staccio 0,063 mm \leq 6;

f = parametro compreso normalmente fra 0,3 e 0,8, variabile in funzione dell'assorbimento degli inerti.

Si procede quindi a costruire, in un diagramma viscosità (a 60 °C) - percentuale di rigenerante (rispetto al legante nuovo), una curva di viscosità con almeno tre punti misurati:

K = viscosità della miscela composta dal bitume estratto (metodo ASTM D5404-97) e dal bitume aggiunto nelle proporzioni determinate con le formule precedenti, senza rigenerante.

M = viscosità della miscela bitume estratto più bitume aggiunto in cui una parte del bitume nuovo è sostituita dall'agente rigenerante nella misura del 10% in peso rispetto al bitume aggiunto.

F = viscosità della miscela simile alla precedente in cui una parte del bitume nuovo è sostituita dall'agente rigenerante nella misura del 20% in peso rispetto al bitume aggiunto. La percentuale di rigenerante necessaria si ottiene da questo diagramma mediante interpolazione lineare alla viscosità di 200 Pa*s.

Tabella 3.7 Requisiti granulometrici delle miscele di aggregati

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	20	100
Staccio	16	80 – 100
Staccio	12,5	65 – 90
Staccio	8	50 – 73
Staccio	4	35 – 55
Staccio	2	25 – 38
Staccio	0,5	11 – 21
Staccio	0,25	6 – 16
Staccio	0,125	4 – 10
Staccio	0,063	4 – 8
% di bitume		4,0 – 5,0

Tabella 3.8 Requisiti della miscela di conglomerato bituminoso tradizionale per strati di binder studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	150
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	10 – 14
Vuoti a 100 rotazioni (*) ^(**)	%	3 – 5
Vuoti a 180 rotazioni (*)	%	≥ 2

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 100 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

Tabella 3.9 Requisiti meccanici della miscela di conglomerato bituminoso tradizionale per strati di binder studiata con metodo volumetrico

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C ^(***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	1,0 – 1,6
Coefficiente di trazione indiretta CTI ⁹ a 25 °C ^(***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	50 – 200
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C ^(***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(***) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria

Sui provini confezionati al 100% della D_G deve essere sperimentalmente determinato un opportuno parametro di rigidezza (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve soddisfare le prescrizioni per esso indicate nel progetto della pavimentazione ed ha la funzione di costituire il riferimento per i controlli alla stessa. In mancanza di specifiche indicazione del progetto il modulo di rigidezza a 20°C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) dovrà soddisfare i valori riportati in Tabella 3.10.

⁹ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

Tabella 3.10 Requisiti di rigidezza della miscela di conglomerato bituminoso tradizionale per strati di binder

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valore
Modulo di rigidezza a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C)	MPa	8000 – 16000

3.1.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità delle miscele di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

3.1.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

3.1.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

3.1.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Al fine di garantire il perfetto essicciamento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità. Si possono impiegare anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione; ogni impianto deve, poi, assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

Se è previsto l'impiego di conglomerato riciclato, l'impianto deve essere attrezzato per il riscaldamento separato del materiale riciclato ad una temperatura compresa tra 90°C e 110°C.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura. Lo stoccaggio del conglomerato bituminoso riciclato deve essere al coperto. L'umidità del conglomerato riciclato prima del riscaldamento deve essere comunque inferiore al 4%. Nel caso di valori superiori l'impiego del riciclato deve essere sospeso.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 160°C e 180° C e quella del legante tra 150° C e 160° C.

Gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati per consentire la verifica delle suddette temperature.

3.1.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

La preparazione delle superfici di stesa va eseguita prima della realizzazione di uno strato di conglomerato bituminoso allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. A seconda che lo strato di supporto sia in misto granulare oppure in conglomerato bituminoso la lavorazione corrispondente prenderà il nome rispettivamente di mano di ancoraggio e mano d'attacco.

Per **mano di ancoraggio** si intende l'applicazione di emulsione bituminosa a rottura lenta e bassa viscosità sopra uno strato in misto granulare prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso allo scopo di riempire i vuoti dello strato non legato irrigidendone la parte superficiale e fornendo, al contempo, una migliore adesione per l'ancoraggio del successivo strato in conglomerato bituminoso.

Il materiale da impiegare a tale fine è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica al 55%, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.11, applicata con un dosaggio di bitume residuo almeno pari a 1,0 kg/m².

Per **mano d'attacco** si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60% oppure al 65% di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.11 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella 3.12 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55% di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati

sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella Tabella 3.11 e Tabella 3.12 per ciascun tipo di emulsione.

I leganti a base di bitume impiegati per le mani di ancoraggio e di attacco dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 3.11 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani di ancoraggio e di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 3.12 Requisiti delle emulsione bituminosa modificata per mani di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	≥ 1,4	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

3.1.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

I conglomerati bituminosi saranno posti in opera mediante macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento; in ogni caso, le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente con l'impiego di due finitrici: qualora ciò non sia possibile, il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia

successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni; inoltre, la temperatura della miscela all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato preferibilmente con rulli gommati.

Per gli strati di binder possono essere utilizzati anche rulli con ruote metalliche vibranti e/o combinati, di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del binder verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

3.1.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in situ.

3.1.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddiritorio con la D.L.

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego e del conglomerato da riciclare (fresato) deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 3.13.

Tabella 3.13 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE E PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 3.5
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 3.1
Aggregato fine	Impianto	Tabella 3.2
Filler	Impianto	Tabella 3.3

3.1.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il numero dei prelievi da eseguire è riportato in [Tabella 3.14](#). Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697 -1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2);
- il modulo di rigidezza E (UNI EN 12697-26 allegato C) a 20 °C e rise-time=125 ms.

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 3.1.3.

Tabella 3.14 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Percentuale di bitume e granulometria degli aggregati risultanti dallo studio della miscela
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Modulo di rigidezza E risultante dallo studio della miscela con una tolleranza di ±20% e comunque all'interno dei limiti di progetto Tabella 3.10

3.1.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il numero di carote da prelevare è riportato nella [Tabella 3.15](#).

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

La percentuale dei vuoti della miscela in situ, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto

Tabella 3.15 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE O DI PROVA	UBICAZIONE PRELIEVO O DELLA PROVA	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in situ	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Qualora i valori dei vuoti, determinati sulle carote, risultassero superiori a quelli previsti al 3.1.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per ogni tratto omogeneo di stesa, lo spessore dello strato verrà determinato facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere quello previsto nel progetto.

Qualora gli spessori medi risultassero inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

3.2 STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI CONFEZIONATI A TIEPIDO

3.2.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I conglomerati bituminosi confezionati a tiepido (temperature di miscelazione inferiori a 130 °C) garantiscono un basso impatto ambientale riducendo l'inquinamento da emissioni di fumi e polveri sia in fase di produzione sia durante la stesa in opera, cautelando gli operatori e garantendo loro una miglior qualità di lavoro; il contenimento della temperatura durante il confezionamento all'impianto e alla stesa si traduce poi in un considerevole risparmio energetico. Tali eco-obiettivi o eco-prestazioni dovranno essere affiancati ad elevate prestazioni fisico-meccaniche del prodotto finito tali da garantire una pavimentazione più sicura e più durevole. Oltre a questi obiettivi con l'impiego dei conglomerati tiepidi è possibile realizzare pavimentazioni bituminose anche in situazioni meteorologiche sfavorevoli (autunno o inverno) data l'elevata lavorabilità dei materiali a basse temperature e il lento decadimento della temperatura nel tempo.

Il conglomerato tiepido è costituito da una miscela di inerti lapidei di primo impiego (ghiaie, pietrischi, graniglie, sabbie ed additivi) ed eventualmente materiale riciclato (materiale proveniente da fresatura stradale adeguatamente selezionato) miscelata a basse temperature con due leganti bituminosi: TIPO A (molle) e TIPO B (duro). Tali miscele si utilizzano per realizzare strati di binder aventi spessore maggiore o uguale a 6 cm.

3.2.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

3.2.2.1 AGGREGATI

Gli aggregati lapidei di primo impiego risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fine o di additivazione: tali aggregati, insieme all'eventuale conglomerato riciclato, costituiscono la fase solida dei conglomerati tiepidi.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondeggianti, da elementi naturali tondeggianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 3.16.

Tabella 3.16 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 30	LA_{30}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	≥ 80	$C_{50/30}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	20	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 30	FI_{30}
Porosità	UNI EN 1936	%	≤ 1,5	-

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0,063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 3.17.

Tabella 3.17 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 60	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati; può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per conglomerati tiepidi deve soddisfare i requisiti indicati in Tabella 3.18.

Tabella 3.18 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B} 8/16$

3.2.2.2 CONGLOMERATO RICICLATO

Per conglomerato riciclato si intende quello proveniente dalla frantumazione in frantoio di lastre o blocchi di conglomerato demolito con sistemi tradizionali, oppure dalla fresatura in situ eseguita con idonee macchine (preferibilmente a freddo). Per ogni lavorazione, le percentuali in peso di materiale fresco definito di “integrazione”, riferite al totale della miscela degli inerti, devono essere comprese nei limiti riportati nella Tabella 3.19. Per il confezionamento di strati di binder può essere utilizzato conglomerato riciclato proveniente da vecchi strati di collegamento ed usura.

La percentuale e la provenienza del conglomerato riciclato da impiegare deve essere obbligatoriamente dichiarata nello studio di progetto della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Tabella 3.19 Composizioni indicative dei formulati per conglomerati tiepidi per strati di binder

Materiali freschi (% di impiego nella miscela)	Materiali frescati (% di impiego nella miscela)
≥ 75	< 25

3.2.2.3 LEGANTE

Il legante utilizzato per il confezionamento di conglomerati tiepidi è costituito da due tipi di leganti bituminosi: tipo A “molle” e tipo B “duro”. Entrambi dovranno essere di tipo stradale (secondo la norma UNI EN 12591:2002) e tali da garantire il rispetto delle prestazioni del conglomerato bituminoso riportate di seguito.

La loro accettazione sarà comunque vincolata al rispetto delle caratteristiche riportate in Tabella 3.20.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 3.20 Requisiti del bitume per conglomerati tiepidi per strati di binder

Tipo di Legante	Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Bitume tipo A “molle”	Viscosità cinematica a 60°C	UNI EN 12595	mm ² /s	8000 – 16000
Bitume tipo B “duro”	Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	35 – 50
	Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	50 – 58

La scelta della percentuale da utilizzare del legante tipo A “molle” e tipo B “duro” sarà decisa in fase di progetto della miscela; i dosaggi saranno stabiliti su base sperimentale in funzione delle caratteristiche e prestazioni finali previste per la miscela.

3.2.3 MISCELA

3.2.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La composizione indicativa della miscela per la realizzazione di conglomerati tiepidi per strati di binder è riportata nella Tabella 3.19. La miscela degli aggregati di primo impiego e del conglomerato da riciclare, da adottarsi per gli strati di binder, deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportati in Tabella 3.21. La percentuale di legante totale (compreso il bitume presente nel conglomerato da riciclare), riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella.

La quantità di bitume nuovo di effettivo impiego e la percentuale del componente tipo A “molle” e tipo B “duro” devono essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31 ed in funzione delle caratteristiche e prestazioni finali previste per la miscela. Le caratteristiche richieste per gli strati di binder in conglomerato tiepido sono riportate nella Tabella 3.22, Tabella 3.23.

Tabella 3.21 Requisiti granulometrici delle miscele di aggregati

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	20	100
Staccio	16	80 – 100
Staccio	12,5	65 – 90
Staccio	8	50 – 73
Staccio	4	35 – 55
Staccio	2	25 – 38
Staccio	0,5	11 – 21
Staccio	0,25	6 – 16
Staccio	0,125	4 – 10
Staccio	0,063	4 – 8
% di bitume		4,5 – 5,5

Tabella 3.22 Requisiti della miscela di conglomerato tiepido per strati di binder studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	150
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	10 – 14
Vuoti a 100 rotazioni (*) (**) (***)	%	3 – 5
Vuoti a 180 rotazioni (*)	%	≥ 2

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 100 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

Tabella 3.23 Requisiti meccanici della miscela di conglomerato tiepido per strati di binder studiata con metodo volumetrico

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	0,8 – 1,4
Coefficiente di trazione indiretta CTI ¹⁰ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	50 – 200
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(***) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria

Sui provini confezionati al 100% della D_G deve essere sperimentalmente determinato un opportuno parametro di rigidezza (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve soddisfare le prescrizioni per esso indicate nel progetto della pavimentazione ed ha la funzione di costituire il riferimento per i controlli alla stessa. In mancanza di specifiche indicazione del progetto il modulo di rigidezza a 20°C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) dovrà soddisfare i valori riportati in Tabella 3.24.

¹⁰ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

Tabella 3.24 Requisiti di rigidezza delle miscele di conglomerato tiepido per strati di binder

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valore
Modulo di rigidezza a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C)	MPa	4000 – 9000

3.2.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità delle miscele di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

3.2.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

3.2.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

3.2.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Saranno accettati soltanto impianti discontinui in cui ogni componente sarà pesato. Gli impianti di produzione avranno piani di vagliatura (reti) attraverso cui gli aggregati saranno ben selezionati e poi pesati, idoneo mescolatore per l'impasto della miscela e numero sufficiente di predosatori.

Si dovranno utilizzare due cisterne per lo stoccaggio dei leganti (A e B); il tipo A sarà mantenuto alla temperatura di circa 120 °C mentre il tipo B a circa 160°C.

Gli aggregati, passando attraverso il cilindro essiccatore, saranno portati ad una temperatura di circa 130-140 °C. Una volta scaricati, insieme al filler, nel mescolatore saranno sottoposti ad un primo stadio di miscelazione con il componente A e successivamente con il componente B, dopo che quest'ultimo ha subito un processo di pseudo-schiumatura in un'apposita camera esterna al mescolatore.

Al fine di garantire il perfetto essiccamiento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

Se è previsto l'impiego di conglomerato riciclato, l'impianto deve essere attrezzato per il riscaldamento separato del materiale riciclato ad una temperatura compresa tra 90°C e 110°C.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura.

Si farà uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Lo stoccaggio del conglomerato bituminoso riciclato deve essere al coperto. L'umidità del conglomerato riciclato prima del riscaldamento deve essere comunque inferiore al 4%. Nel caso di valori superiori l'impiego del riciclato deve essere sospeso.

Il tempo di miscelazione sarà stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante. Tale tempo sarà compreso fra 30 e 50 sec e sarà in funzione dell'efficienza dell'impianto.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione dovrà essere compresa tra 120° e 130° C.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatore, le caldaie e le tramogge degli impianti dovranno essere muniti di termometri (possibilmente ad infrarossi) fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

Altri controlli saranno eseguiti sulla taratura delle bilance.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

L'impresa è tenuta a presentare a sue spese, prima dell'inizio dei lavori, una documentazione che evidensi la riduzione delle emissioni al camino e del consumo energetico dell'essiccatore tra il sistema di produzione tradizionale a caldo dei conglomerati bituminosi e la nuova tecnologia a bassa temperatura. I valori dovranno rientrare nei limiti indicati in Tabella 3.25.

In qualsiasi momento della produzione l'Ente Committente potrà incaricare un Laboratorio qualificato e competente nei riguardi dei processi di produzione a basse temperature, da essa stessa scelto, per la verifica del rispetto dei valori riportati nella Tabella 3.25.

Tabella 3.25 Requisiti ambientali dell'impianto di produzione

Parametro	Riduzione valori registrati tra produzione tradizionale e a bassa temperatura	Unità di misura
CO ₂	Riduzione emissione al camino minima: 30%	Kg/h
SO ₂	Riduzione emissione al camino minima: 25%	Kg/h
NO _X	Riduzione emissione al camino minima: 50%	Kg/h
Consumo energia	Riduzione combustibile tamburo essiccatore: 25%	m ³ /h

3.2.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

La preparazione delle superfici di stesa va eseguita prima della realizzazione di uno strato di conglomerato bituminoso allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. A seconda che lo strato di supporto sia in misto granulare oppure in conglomerato bituminoso la lavorazione corrispondente prenderà il nome rispettivamente di mano di ancoraggio e mano d'attacco.

Per **mano di ancoraggio** si intende l'applicazione di emulsione bituminosa a rottura lenta e bassa viscosità sopra uno strato in misto granulare prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso allo scopo di riempire i vuoti dello strato non legato irrigidendone la parte superficiale e

fornendo, al contempo, una migliore adesione per l'ancoraggio del successivo strato in conglomerato bituminoso.

Il materiale da impiegare a tale fine è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica al 55%, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.26, applicata con un dosaggio di bitume residuo almeno pari a 1,0 kg/m².

Per **mano d'attacco** si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60% oppure al 65% di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.26 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella 3.27 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessure mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55% di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella Tabella 3.26 e Tabella 3.27 per ciascun tipo di emulsione.

I leganti a base di bitume impiegati per le mani di ancoraggio e di attacco dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 3.26 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani di ancoraggio e di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 3.27 Requisiti delle emulsioni bituminose modificate per mani di di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	$\geq 1,4$	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

3.2.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

I conglomerati tiepidi saranno posti in opera a mezzo di macchine vibrofinitrici, dei tipi approvati dalla D.L., in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento: in ogni caso, le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali. Il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare compresa tra 95 – 105 °C.

Qualora la temperatura risultasse superiore il materiale dovrà permanere in cantiere sui mezzi di trasporto fino alla temperatura prevista ovvero compresa tra 95 – 105 °C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e comunque a temperatura compresa tra 95 – 105 °C e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con rulli gommati di idoneo peso, rulli metallici o tandem.

Dovrà essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 10 t per le operazioni di finitura dei giunti e riprese.

Al termine della compattazione lo strato di binder dovrà avere una densità uniforme in tutto lo spessore; la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quelle di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del binder verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

3.2.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati tiepidi e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in sito.

3.2.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego e del conglomerato da riciclare (fresato) deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 3.28.

Tabella 3.28 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitumi componenti	Cisterna	Tabella 3.20
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 3.16
Aggregato fine	Impianto	Tabella 3.17
Filler	Impianto	Tabella 3.18

3.2.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il numero dei prelievi da eseguire è riportato in Tabella 3.29. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

- il modulo di rigidezza E (UNI EN 12697-26 allegato C) a 20 °C e rise-time=125 ms.

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 3.2.3.

Tabella 3.29 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Percentuale di bitume e granulometria degli aggregati risultanti dallo studio della miscela
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Modulo di rigidezza E risultante dallo studio della miscela con una tolleranza di $\pm 20\%$ e comunque all'interno dei limiti di progetto Tabella 3.24

3.2.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il numero di carote da prelevare è riportato nella Tabella 3.30.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 3.30 Controlli prestazionali sugli strati finiti

TIPO DI CAMPIONE O DI PROVA	UBICAZIONE PRELIEVO O DELLA PROVA	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	\leq % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Qualora i valori dei vuoti, determinati sulle carote, risultassero superiori a quelli previsti al 3.2.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per ogni tratto omogeneo di stesa, lo spessore dello strato verrà determinato facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere quello previsto nel progetto.

Qualora gli spessori medi risultassero inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

3.3 STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI AD ELEVATA DURATA A FATICA

3.3.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I conglomerati bituminosi ad elevate prestazioni sono miscele, dosate a peso o a volume, costituite da aggregati lapidei di primo impiego, bitume modificato ed eventualmente conglomerato riciclato. L'utilizzo del bitume modificato per il confezionamento di queste miscele permette di ottenere conglomerati bituminosi con elevata durata a fatica, rispetto ai conglomerati bituminosi di tipo tradizionali confezionati con bitume semisolido (tal quale). Per questo motivo si parla di strati di binder ad elevate prestazioni. Tali miscele si utilizzano per realizzare strati di binder aventi spessore maggiore o uguale a 6 cm.

3.3.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

3.3.2.1 AGGREGATI

Gli aggregati lapidei di primo impiego risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fine o di additivazione: tali aggregati, insieme all'eventuale conglomerato riciclato, costituiscono la fase solida dei conglomerati bituminosi ad elevate prestazioni.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondeggianti, da elementi naturali tondeggianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 3.31.

Tabella 3.31 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 30	LA_{30}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	≥ 80	$C_{50/30}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	20	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 30	FI_{30}
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima D = 4 mm. Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 3.32.

Tabella 3.32 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 60	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f ₃

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati; può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per conglomerati bituminosi ad elevate prestazioni deve soddisfare i requisiti indicati in Tabella 3.33.

Tabella 3.33 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	V _{28/45}
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	Δ _{R&B} 8/16

3.3.2.2 CONGLOMERATO RICICLATO

Per conglomerato riciclato si intende quello proveniente dalla frantumazione in frantoio di lastre o blocchi di conglomerato demolito con sistemi tradizionali, oppure dalla fresatura in situ eseguita con idonee macchine (preferibilmente a freddo). Per ogni lavorazione, le percentuali in peso di materiale fresato definito di “integrazione”, riferite al totale della miscela degli inerti, devono essere comprese nei limiti riportati nella Tabella 3.34. Per il confezionamento di strati di binder ad elevate prestazioni può essere utilizzato conglomerato riciclato proveniente da vecchi strati di collegamento ed usura.

La percentuale e la provenienza del conglomerato riciclato da impiegare deve essere obbligatoriamente dichiarata nello studio di progetto della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Tabella 3.34 Composizioni indicative dei formulati per conglomerati bituminosi ad elevata durata a fatica per strati di binder

Materiali freschi (% di impiego nella miscela)	Materiali fresati (% di impiego nella miscela)
≥ 85	< 15

3.3.2.3 LEGANTE

I conglomerati bituminosi utilizzati per la formazione di strati di binder ad elevate prestazioni vengono confezionati con bitumi modificati. Tali bitumi fanno parte di quei leganti per uso stradale di nuova generazione, che riducono l'attitudine alla deformazione permanente dei conglomerati, risultato quest'ultimo non raggiungibile con l'impiego di bitumi semisolidi tal quali.

La loro produzione avviene in impianti industriali dove vengono intimamente miscelati i bitumi base modificata con polimeri di natura elastomerica e/o plastomerica e/o altre tipologie di modifica.

Il bitume modificato utilizzato per la realizzazione di conglomerati bituminosi con elevate prestazioni è un bitume a modifica “HARD”. La modifica deve conseguire sul legante i risultati riportati in Tabella 3.35.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 3.35 Requisiti del bitume con modifica HARD per conglomerati bituminosi ad elevata durata a fatica per strati di binder

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	45 - 80	Classe 4
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 70	Classe 4
Force Ductility Test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 7
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 60 Classe 7
	Incremento del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 8 Classe 2
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5 Classe 3
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -15	Classe 7
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 80	Classe 2
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Intervallo di elastoplasticità	UNI EN 14023	°C	≥ 85	Classe 2
Stabilità allo stoccaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5 Classe 2
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9 Classe 2

3.3.3 MISCELA

3.3.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La composizione indicativa della miscela per strati di binder ad elevate prestazioni è riportata nella Tabella 3.34. La miscela degli aggregati di primo impiego e del conglomerato da riciclare, da adottarsi per questi strati di binder, deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 3.36. La percentuale di legante totale (compreso il bitume presente nel conglomerato da riciclare), riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella.

La quantità di bitume nuovo di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31. Le caratteristiche richieste per gli strati di binder in conglomerato bituminoso ad elevate prestazioni sono riportate nella Tabella 3.37, Tabella 3.38.

Tabella 3.36 Requisiti granulometrici della miscela di aggregati per strati di binder ad elevata durata a fatica

Serie stacci UNI (mm)	Passante totale in peso %
Staccio 20	100
Staccio 16	80 – 100
Staccio 12,5	65 – 90
Staccio 8	50 – 73
Staccio 4	35 – 55
Staccio 2	25 – 38
Staccio 0,5	11 – 21
Staccio 0,25	6 – 16
Staccio 0,125	4 – 10
Staccio 0,063	4 – 8
% di bitume	4,5 – 5,5

Tabella 3.37 Requisiti della miscela di conglomerato bituminoso per strati di binder ad elevata durata a fatica studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	150
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	10 – 14
Vuoti a 100 rotazioni (*) (**)	%	3 – 5
Vuoti a 180 rotazioni (*)	%	≥ 2

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 100 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

Tabella 3.38 Requisiti meccanici della miscela di conglomerato bituminoso per strati di binder ad elevata durata a fatica studiata con metodo volumetrico

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	1,0 – 1,6
Coefficiente di trazione indiretta CTI ¹¹ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	50 – 200
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(***) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria

Sui provini confezionati al 100% della D_G deve essere sperimentalmente determinato un opportuno parametro di rigidezza (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve soddisfare le prescrizioni per esso indicate nel progetto della pavimentazione ed ha la funzione di costituire il riferimento per i controlli alla stessa. In mancanza di specifiche indicazione del progetto il modulo di rigidezza a

¹¹ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

20°C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) dovrà soddisfare i valori riportati in Tabella 3.39.

Tabella 3.39 Requisiti di rigidezza della miscela di conglomerato bituminoso per strati di binder ad elevata durata a fatica

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valore
Modulo di rigidezza a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C)	MPa	5000 – 10000

3.3.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità delle miscele di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

3.3.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

3.3.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

3.3.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Al fine di garantire il perfetto essiccamiento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità. Si possono impiegare anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione; ogni impianto deve, poi, assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio del bitume.

Se è previsto l'impiego di conglomerato riciclato, l'impianto deve essere attrezzato per il riscaldamento separato del materiale riciclato ad una temperatura compresa tra 90°C e 110°C.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura.

Lo stoccaggio del conglomerato bituminoso riciclato deve essere al coperto. L'umidità del conglomerato riciclato prima del riscaldamento deve essere comunque inferiore al 4%. Nel caso di valori superiori l'impiego del riciclato deve essere sospeso.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 160°C e 180°C e quella del legante tra 175°C e 185°C.

Gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati per consentire la verifica delle suddette temperature.

3.3.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

La preparazione delle superfici di stesa va eseguita prima della realizzazione di uno strato di conglomerato bituminoso allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. A seconda che lo strato di supporto sia in misto granulare oppure in conglomerato bituminoso la lavorazione corrispondente prenderà il nome rispettivamente di mano di ancoraggio e mano d'attacco.

Per **mano di ancoraggio** si intende l'applicazione di emulsione bituminosa a rottura lenta e bassa viscosità sopra uno strato in misto granulare prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso allo scopo di riempire i vuoti dello strato non legato irridendone la parte superficiale e fornendo, al contempo, una migliore adesione per l'ancoraggio del successivo strato in conglomerato bituminoso.

Il materiale da impiegare a tale fine è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica al 55%, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.40, applicata con un dosaggio di bitume residuo almeno pari a 1,0 kg/m².

Per **mano d'attacco** si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60% oppure al 65% di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.40 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella 3.41 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite

(fino ad un massimo del 55% di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella Tabella 3.40 e Tabella 3.41 per ciascun tipo di emulsione.

I leganti a base di bitume impiegati per le mani di ancoraggio e di attacco dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 3.40 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani di ancoraggio e di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 3.41 Requisiti delle emulsioni bituminose modificate per mani di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	≥ 1,4	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

3.3.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

I conglomerati bituminosi saranno posti in opera mediante macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento; in ogni caso, le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgrannamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente con l'impiego di due finitrici: qualora ciò non sia possibile, il bordo della striscia già realizzata deve

essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni; inoltre, la temperatura della miscela all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 150° C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato preferibilmente con rulli gommati, ma possono essere utilizzati anche rulli con ruote metalliche vibranti e/o combinati, di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del binder verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

3.3.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi ad elevate prestazioni e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in sito.

3.3.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddiritorio con la D.L.

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego e del conglomerato da riciclare (fresato) deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 3.42Tabella 3.13.

Tabella 3.42 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE E PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 3.35
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 3.31
Aggregato fine	Impianto	Tabella 3.32
Filler	Impianto	Tabella 3.33

3.3.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il numero dei prelievi da eseguire è riportato in Tabella 3.43. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697 -1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2);
- il modulo di rigidezza E (UNI EN 12697-26 allegato C) a 20 °C e rise-time=125 ms.

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 3.3.3.

Tabella 3.43 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Percentuale di bitume e granulometria degli aggregati risultanti dallo studio della miscela
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Modulo di rigidezza E risultante dallo studio della miscela con una tolleranza di ±20% e comunque all'interno dei limiti di progetto Tabella 3.39

3.3.5.3 CONTROLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il numero di carote da prelevare è riportato nella Tabella 3.44.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto

Tabella 3.44 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE O DI PROVA	UBICAZIONE PRELIEVO O DELLA PROVA	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Qualora i valori dei vuoti, determinati sulle carote, risultassero superiori a quelli previsti al 3.3.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell'importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per ogni tratto omogeneo di stesa, lo spessore dello strato verrà determinato facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere quello previsto nel progetto.

Qualora gli spessori medi risultassero inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

3.4 STRATI DI BINDER REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO GAP GRADED CONFEZIONATI CON BITUME MODIFICATO MEDIANTE L'AGGIUNTA DI POLIMERI SBR/NR SECONDO PROCESSO WET

3.4.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I conglomerati bituminosi tipo gap graded, confezionati con bitume modificato mediante l'aggiunta di polimeri SBR/NR, sono delle miscele che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottenere buone prestazioni in termini di durabilità e prestazioni meccaniche.

Tali conglomerati, aventi spessori in opera di almeno 50 mm, sono costituiti da una miscela di pietrischetti, graniglie, frantumati, sabbie di sola frantumazione e additivo (filler), impastata a caldo in appositi impianti con bitume modificato con polimeri SBR/NR. Il legante impiegato per il confezionamento della miscela consiste in un bitume modificato con polimero di gomma riciclata di pneumatici fuori uso, incorporata nel bitume tramite processo wet.

3.4.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

3.4.2.1 AGGREGATI

La fase solida è costituita da aggregati lapidei di primo impiego costituiti da elementi totalmente frantumati, sani, duri, di forma poliedrica, esenti da polveri e materiali estranei. I granuli non dovranno mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare. La miscela degli inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler, che può provenire dalla frazione fina o essere aggiunto.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee, da elementi naturali tondeggianti, da elementi naturali tondeggianti frantumati, da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa (preferibilmente basaltica) purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 3.45.

Tabella 3.45 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 25	LA_{25}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	16	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	≤ 5	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 25	FI_{25}

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Porosità	UNI EN 1936	%	≤ 1,5	-

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell’aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l’impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 3.46.

Tabella 3.46 Requisiti dell’aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 60	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati; può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per strati di binder tipo gap graded, confezionati con bitume modificato mediante l’aggiunta di polimeri SBR/NR, deve soddisfare i requisiti indicati in Tabella 3.47.

Tabella 3.47 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B}$ 8/16

3.4.2.2 LEGANTE

Il legante impiegato per il confezionamento di tali miscele è un bitume modificato con polverino di gomma riciclata di pneumatici fuori uso, incorporato nel bitume tramite processo “wet”. L’aggiunta a caldo del polverino di gomma, in ragione del 15÷22% riferito al peso totale del legante (bitume + polverino di gomma), modifica la struttura chimica e le caratteristiche fisico-mecaniche del bitume base.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all’appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Bitume base

Il bitume base deve appartenere alla classe 50/70 definita dalla norma UNI EN 12591 e possedere un punto di rammollimento $\geq 50^{\circ}\text{C}$.

Additivo polimerico SBR/NR

L'additivo polimerico di tipo SBR/NR deve essere ottenuto dal riciclaggio di pneumatici di automobili o autocarri e deve possedere le seguenti caratteristiche:

- gomma di pneumatico, 100% vulcanizzata;
- assenza di fibra, tessuto, metallo o di qualsiasi altro materiale contaminante;
- dopo la tritazione deve presentarsi come una polvere, non incollata, di materiale granulare con un peso specifico di $1,15 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$;
- quantità di polvere minerale, carbonato di calcio o talco (utilizzato per impedire l'aderenza delle particelle), non superiore al 4% del peso della gomma;
- contenuto d'acqua non superiore al 2% in peso, per evitare la formazione di bollicine d'aria durante il processo di miscelazione.

La granulometria del polverino di gomma deve rispettare i requisiti indicati nella Tabella 3.48.

Tabella 3.48 Requisiti granulometrici additivo polimerico SBR/NR

Serie stacci ISO 3310 serie R20 (mm)	Passante totale in peso %
Staccio 1,25	100
Staccio 0,800	95 – 100
Staccio 0,630	85 – 100
Staccio 0,400	45 – 70
Staccio 0,250	5 – 25
Staccio 0,063	0 – 5

Bitume modificato

Le proprietà del bitume modificato sono riportate nella Tabella 3.49. La determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del legante modificato deve essere eseguita non prima di 45 minuti dalla sua produzione.

Tabella 3.49 Requisiti del bitume modificato mediante l'aggiunta di polimeri SBR/NR per strati di binder tipo gap graded

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifica UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	25 - 55	Classe 3
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 50	Classe 8
Force Ductility Test a 5°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 2
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 45
	Incremento del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 12
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -7	Classe 4
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 60	Classe 4
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Stabilità allo stoccaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9

3.4.2.3 ADDITIVI

È escluso l'utilizzo di qualsiasi tipologia di fibre e/o additivi per il confezionamento di strati di binder tipo gap graded realizzati con bitume modificato mediante l'aggiunta di polimeri SBR/NR.

3.4.3 MISCELA

3.4.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La miscela degli aggregati da adottarsi per i conglomerati bituminosi tipo gap graded, confezionati con bitumi modificati mediante l'aggiunta di polimeri SBR/NR, deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 3.50.

Tali conglomerati devono avere uno spessore di almeno 50 mm. La percentuale di bitume, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa Tabella 3.50.

La quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31.

Tabella 3.50 Requisiti granulometrici della miscela di aggregati

Serie stacci UNI (mm)	Passante totale in peso %
Staccio 16	100
Staccio 12,5	90 – 100
Staccio 8	65 – 75
Staccio 4	27 – 37
Staccio 2	12 – 22
Staccio 0,5	5 – 14
Staccio 0,25	3 – 11
Staccio 0,125	2 – 8
Staccio 0,063	2 – 6
% di bitume	7,5 – 8,5

Le caratteristiche richieste per i conglomerati bituminosi tipo gap graded, confezionati con bitumi modificati mediante l'aggiunta di polimeri SBR/NR, sono riportate nella Tabella 3.51, Tabella 3.52.

Tabella 3.51 Requisiti della miscela per strati di binder tipo gap graded, confezionati con bitume modificato con polimeri SBR/NR, studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	150
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	12 – 16
Vuoti a 50 rotazioni (*) (**) (%)	%	5 – 7
Vuoti a 130 rotazioni (*)	%	≥ 2

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 50 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

Tabella 3.52 Requisiti meccanici della miscela per strati di binder tipo gap graded, confezionati con bitume modificato con polimeri SBR/NR, studiata con metodo volumetrico

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valori
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 0,6
Coefficiente di trazione indiretta CTI ¹² a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 50
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80
(***) Su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria		

Sui provini confezionati al 100% della D_G deve essere sperimentalmente determinato un opportuno parametro di rigidezza (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) che deve soddisfare le prescrizioni per esso indicate nel progetto della pavimentazione ed ha la funzione di costituire il riferimento per i controlli alla stessa. In mancanza di specifiche indicazione del progetto il modulo di rigidezza a 20°C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C) dovrà soddisfare i valori riportati in Tabella 3.53.

Tabella 3.53 Requisiti di rigidezza della miscela per strati di binder tipo gap graded confezionati con bitume modificato con polimeri SBR/NR

Requisiti meccanici	Unità di misura	Valore
Modulo di rigidezza a 20 °C e rise-time=125 ms (UNI EN 12697-26:2004 allegato C)	MPa	4000 - 9000

3.4.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità delle miscele di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stessa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

3.4.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di ± 1,5 punti percentuali. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di ± 0,25%. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele

¹² Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

3.4.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

3.4.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Al fine di garantire il perfetto essiccamiento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità. Si possono impiegare anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione; ogni impianto deve, poi, assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo polimerico.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190°C e quella del legante modificato tra 170°C e 190°C.

Gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati per consentire la verifica delle suddette temperature.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

3.4.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

La preparazione delle superfici di stesa va eseguita prima della realizzazione di uno strato di conglomerato bituminoso allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. A seconda che lo strato di supporto sia in misto granulare oppure in conglomerato bituminoso la lavorazione corrispondente prenderà il nome rispettivamente di mano di ancoraggio e mano d'attacco.

Per **mano di ancoraggio** si intende l'applicazione di emulsione bituminosa a rottura lenta e bassa viscosità sopra uno strato in misto granulare prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso allo scopo di riempire i vuoti dello strato non legato irrigidendone la parte superficiale e fornendo, al contempo, una migliore adesione per l'ancoraggio del successivo strato in conglomerato bituminoso.

Il materiale da impiegare a tale fine è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica al 55%, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.54, applicata con un dosaggio di bitume residuo almeno pari a 1,0 kg/m².

Per **mano d'attacco** si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60% oppure al 65% di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 3.54 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella 3.55 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55% di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella Tabella 3.54 e Tabella 3.55 per ciascun tipo di emulsione.

I leganti a base di bitume impiegati per le mani di ancoraggio e di attacco dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 3.54 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani di ancoraggio e di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 3.55 Requisiti delle emulsioni bituminose modificate per mani di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	mm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	≥ 1,4	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

3.4.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

La posa in opera degli strati di binder tipo gap graded additi vati con polimeri SBR/NR viene effettuataa mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di auto livellamento.

La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3-4 m/min con alimentazione continua del conglomerato. Lo spessore dello strato deve essere posato per la sua intera altezza (spessore minimo di 50 mm) con un'unica passata, limitando il più possibile le interruzioni della stesa ed evitando interventi manuali per la correzione delle anomalie.

Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgrannamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi. Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente con l'impiego di due finitrici: qualora ciò non sia possibile, il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni; inoltre, la temperatura della miscela all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 170° C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato preferibilmente con rulli gommati.

Per gli strati di binder possono essere utilizzati anche rulli con ruote metalliche vibranti e/o combinati, di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del binder verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

3.4.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi per strati di binder tipo gap graded additi vati con polimeri SBR/NR e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in sito.

3.4.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L.

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 3.56.

Tabella 3.56 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 3.49
Additivo polimerico SBR/NR	Impianto	Tabella 3.48
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 3.45
Aggregato fine	Impianto	Tabella 3.46
Filler	Impianto	Tabella 3.47

3.4.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il numero dei prelievi da eseguire è riportato in Tabella 3.57. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697 -1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2);
- il modulo di rigidezza E (UNI EN 12697-26 allegato C) a 20 °C e rise-time=125 ms.

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 3.4.3.

Tabella 3.57 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Percentuale di bitume e granulometria degli aggregati risultanti dallo studio della miscela
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	Modulo di rigidezza E risultante dallo studio della miscela con una tolleranza di $\pm 20\%$ e comunque all'interno dei limiti di progetto Tabella 3.53

3.4.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il numero di carote da prelevare è riportato nella Tabella 3.58.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto

Tabella 3.58 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE O DI PROVA	UBICAZIONE PRELIEVO O DELLA PROVA	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	\leq % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Qualora i valori dei vuoti, determinati sulle carote, risultassero superiori a quelli previsti al 3.4.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per ogni tratto omogeneo di stesa, lo spessore dello strato verrà determinato facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere quello previsto nel progetto.

Qualora gli spessori medi risultassero inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

4 MISCELE PER STRATI DI USURA

4.1 MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO GAP GRADED

4.1.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I manti di usura tipo gap graded fanno parte di quella tipologia di conglomerati bituminosi detti di *nuova generazione*, impiegati per la realizzazione di manti di usura speciali a bassa emissione sonora, sono delle miscele che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottimizzare le prestazioni acustiche senza pregiudicare la durabilità, la stabilità e la sicurezza della circolazione.

Il contributo fornito alla sicurezza stradale da questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura di pavimentazioni esistenti.

I conglomerati gap graded sono tappeti di usura antisdrucchio, aventi spessori in opera di almeno 30 mm, costituiti da una miscela di pietrischetti, graniglie, frantumati, sabbie di sola frantumazione e additivo (filler), impastata a caldo in appositi impianti con bitume modificato e talvolta con aggiunta di fibre organiche o minerali. Questo conglomerato, chiuso e totalmente impermeabile agli strati sottostanti, viene proposto in alternativa al drenante fonoassorbente per le maggiori possibilità di applicazione e per una più semplice manutenzione. Esso è stato studiato per: migliorare l'aderenza, impermeabilizzare la struttura sottostante ed attenuare il rumore di rotolamento dei pneumatici.

4.1.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

4.1.2.1 AGGREGATI

La fase solida dei conglomerati per manti di usura tipo gap graded è costituita da aggregati lapidei di primo impiego costituiti da elementi totalmente frantumati, sani, duri, di forma poliedrica, esenti da polveri e materiali estranei. I granuli non dovranno mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare. La miscela degli inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler, che può provenire dalla frazione fina o essere aggiunto.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Sarà costituito da pietrischi, pietrischetti e graniglie che potranno essere di provenienza e natura petrografia diversa (preferibilmente basaltica), aventi forma poliedrica a spigoli vivi che soddisfino i requisiti indicati nella Tabella 4.1. Per la miscela di aggregato grosso deve essere misurato il valore di levigabilità (PSV) per ogni provenienza o natura petrografica del materiale utilizzato: il valore di PSV misurato sulla pezzatura minima passante allo staccio di 10 mm e trattenuta allo staccio a barre a 7,2 mm, deve essere ≥ 50 .

Tabella 4.1 Requisiti dell'aggregato grosso

Parametro	Indicatori di qualità			Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura	Valore	
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 20	LA_{20}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	8	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	0	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 20	FI_{20}
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	≤ 15	SI_{15}
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-
PSV	UNI EN 1097-8	%	≥ 50	PSV_{50}

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0,063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Esso deve essere costituito esclusivamente da sabbie ricavate per frantumazione di rocce e da elementi litoidi di fiume e deve possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 4.2.

Il trattenuto allo staccio di 2 mm non deve superare il 10% qualora gli aggregati fini provengano da rocce aventi un valore di $PSV \leq 50$.

Tabella 4.2 Requisiti dell'aggregato fine

Parametro	Indicatori di qualità			Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura	Valore	
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 80	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler**, frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm, proviene dalla frazione fine degli aggregati oppure può essere costituito da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso il filler per i manti di usura tipo gap graded deve soddisfare i requisiti indicati nella Tabella 4.3.

Tabella 4.3 Requisiti del filler

Parametro	Indicatori di qualità		Valore	Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R\&B} 8/16$

4.1.2.2 LEGANTE

I conglomerati bituminosi utilizzati per la formazione di manti di usura tipo gap graded vengono confezionati con bitumi modificati cioè con bitumi semisolidi contenenti polimeri elastomerici e/o plastomerici che ne modificano la struttura chimica e le caratteristiche fisiche e meccaniche: le caratteristiche di tali bitumi sono riportate nella Tabella 4.4.

Per confezionare i conglomerati gap graded deve essere utilizzato il bitume modificato di tipo Hard. Il rapporto filler – bitume dovrà mantenersi tra 1,1 e 1,7.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.4 Requisiti dei bitumi con modifica HARD per manti di usura tipo gap graded

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 14023		
<i>Requisiti essenziali</i>					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	45 - 80	Classe 4	
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 65	Classe 5	
Force Ductility Test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 7	
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 60	Classe 7
	Incremento del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 8	Classe 2
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5	Classe 3
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2	
<i>Altre proprietà</i>					
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -15	Classe 7	
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 80	Classe 2	
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>					
Intervallo di elastoplasticità	UNI EN 14023	°C	≥ 80	Classe 3	
Stabilità allo stoccaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5	Classe 2
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9	Classe 2

4.1.2.3 ADDITIVI

Per migliorare le prestazioni dei conglomerati bituminosi si aggiungono agli aggregati o al bitume dei prodotti naturali o artificiali che prendono il nome di additivi.

Le fibre minerali sono degli additivi che nelle miscele ricche di graniglia e povere di sabbia hanno una funzione stabilizzante del mastice (filler+bitume) evitandone la separazione dallo scheletro litico.

Esse possono essere costituite da microfibrette di cellulosa, di vetro, acriliche, ecc.: devono possedere i requisiti indicati in Tabella 4.5.

Tabella 4.5 Requisiti delle fibre minerali

Caratteristiche geometrico-mecaniche	Unità di misura	Valore
Lunghezza media bavella	micron	200/300
Diametro medio fibra	micron	8/15
Superficie specifica fibra	cm ² /g	2700
Resistenza alla trazione	GPa	da 1,5 a 2,5
Allungamento massimo	%	da 1,5 a 2,5
Resistenza alla temperatura	°C	≥ 550

4.1.3 MISCELA

4.1.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La miscela degli aggregati da adottarsi per i conglomerati bituminosi tipo gap graded deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 4.6.

Per migliorare la stabilità del mastice bituminoso la miscela deve essere additivata, mediante idonee apparecchiature, con fibre minerali in quantità compresa tra lo 0,25% e lo 0,40% rispetto al peso degli aggregati.

Gli strati di usura tipo gap graded devono avere uno spessore di almeno 30 mm. La percentuale di bitume, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa Tabella 4.6.

La quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31.

Tabella 4.6 Requisiti granulometrici della miscela per conglomerati tipo gap graded

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	8	100
Staccio	6,3	90 – 100
Staccio	4	65 – 75
Staccio	2	19 – 29
Staccio	0,5	11 – 19
Staccio	0,25	9 – 17
Staccio	0,125	8 – 14
Staccio	0,063	8 – 12
Percentuale di bitume		7% – 8%
Spessore (mm)		≥ 30

Le caratteristiche richieste per i conglomerati bituminosi tipo gap graded sono riportate nella Tabella 4.7.

Tabella 4.7 Requisiti della miscela per conglomerati tipo gap graded studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	100
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	12 – 16
Vuoti a 50 rotazioni (*) (**) (***)	%	6 – 8
Vuoti a 130 rotazioni (*)	%	≥ 2
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 0,8
Coefficiente di trazione indiretta CTI ¹³ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 50
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 90

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8

(**) La massa volumica ottenuta con 50 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

(***) Su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria

4.1.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità della miscela di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

4.1.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali.

Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$.

Tali valori devono essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate all'impianto e alla stesa come pure dall'esame delle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

¹³ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

4.1.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

4.1.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il conglomerato deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

In ciascun impianto, la produzione non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essicciamento degli inerti, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati. Possono essere impiegati anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti della miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190°C e quella del legante modificato tra 160°C e 180°C.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

4.1.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

Prima di iniziare la stesa del conglomerato bituminoso per manti di usura tipo gap graded va verificata l'efficienza delle opere per il deflusso delle acque. Se non sono rispettate le pendenze trasversali del piano di posa (sempre > 2,5%), questo deve essere risagomato; inoltre, devono essere verificate le condizioni di regolarità longitudinale e la presenza di ormaie, per valutare la necessità di eseguire un intervento preliminare di regolarizzazione del piano di posa dello strato di usura. Questi sono necessari qualora l'IRI sia maggiore di 1,8 mm/m e di 2,0 mm/m, rispettivamente per intervento su tutta o su parte della carreggiata, e le ormaie abbiano profondità maggiore di 10 mm. Eventuali interventi preliminari di risanamento profondo o di rinforzo della pavimentazione esistente, necessari a garantire la vita utile richiesta, devono essere previsti in fase di progettazione. E' poi necessario provvedere ad una accurata pulizia della superficie stradale eliminando anche l'eventuale preesistente segnaletica orizzontale.

Prima di iniziare la stesa dei manti di usura tipo gap graded è necessario stendere una adeguata mano d'attacco, realizzata con bitumi modificati, che avrà lo scopo di garantire un perfetto ancoraggio con la pavimentazione esistente e prevenire la risalita di eventuali fessure dagli strati sottostanti.

La mano d'attacco sarà eseguita con bitumi modificati stesi in ragione di 0,5 Kg/m² mediante apposite macchine spanditrici automatiche in grado di assicurare l'uniforme distribuzione del prodotto ed il dosaggio previsto. Il bitume modificato steso a caldo (temperatura > 180°C) avrà le

caratteristiche riportate nella Tabella 4.4. Per evitare il danneggiamento della membrana che potrebbe essere causata dall'adesione dei mezzi di cantiere alla stessa, si dovrà provvedere allo spandimento, con apposito mezzo, di graniglia prebitumata avente pezzatura 4-8 mm, in quantità di circa 6-8 l/ m². In casi particolari o quando la Direzione Lavori lo ritenga opportuno, si potrà realizzare la mano d'attacco utilizzando una emulsione di bitume modificato con le caratteristiche minime previste dalla Tabella 4.8 stessa mediante apposite macchine spanditrici automatiche in ragione di 0,7 Kg/m² e successiva granigliatura come sopra descritto. L'eccesso di graniglia non legata dovrà essere asportato mediante impiego di motospazzatrice.

Il legante a base di bitume impiegato per le mani di attacco dovrà essere qualificato in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.8 Caratteristiche minime di accettazione dell'emulsione di bitume modificato

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	≥ 1,4	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

4.1.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

La posa in opera dei manti di usura tipo gap graded viene effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3-4 m/min con alimentazione continua del conglomerato. Lo spessore dello strato deve essere posato per la sua intera altezza (spessore minimo di 30 mm) con un'unica passata, limitando il più possibile le interruzioni della stesa ed evitando interventi manuali per la correzione delle anomalie.

Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi. Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

La sovrapposizione dei giunti longitudinali con quelli degli strati sottostanti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di

telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni. La temperatura del conglomerato bituminoso all’atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C. La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Il conglomerato eventualmente compromesso deve essere immediatamente rimosso e successivamente lo strato deve essere ricostruito a spese dell’Impresa. La compattazione del conglomerato deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni. Il costipamento deve essere realizzato mediante rullo statico a ruote metalliche del peso massimo di 15t. Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto. Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso. La superficie degli strati deve presentarsi, dopo la compattazione, priva di irregolarità ed ondulazioni. Un’asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm. La miscela bituminosa del manto di usura verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest’ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

4.1.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi per manti di usura tipo gap graded e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in sito.

4.1.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l’accettazione, anche in corso d’opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all’impianto direttamente dalla cisterna. I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 4.9.

Tabella 4.9 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 4.4
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 4.1
Aggregato fine	Impianto	Tabella 4.2
Filler	Impianto	Tabella 4.3

4.1.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il tipo di prelievi da eseguire è riportato in [Tabella 4.10](#). Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697 -1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 4.1.3.

Tabella 4.10 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela

4.1.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il tipo di prelievo da eseguire è riportato nella [Tabella 4.11](#).

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere non inferiore a quello previsto nel progetto.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 4.11 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Caratteristiche superficiali

Sulle pavimentazioni finite dovranno essere eseguite prove per il controllo dei valori di aderenza e macrotessitura superficiale dello strato di usura con le frequenze riportate in [Tabella 4.12](#). Le misure di aderenza (resistenza ad attrito radente) eseguite con lo Skid Tester secondo la norma UNI EN 13036-4, dovranno fornire valori di BPN (British Pendulum Number) ≥ 65 . La tessitura superficiale, misurata con l'altezza di sabbia (HS), determinata secondo la metodologia riportata nella UNI EN 13036-1, deve risultare $\geq 0,6$ mm.

Tabella 4.12 Controllo delle caratteristiche superficiali

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	$BPN \geq 65$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	$HS \geq 0,6 \text{ mm}$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	$F60 \geq 0,26$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	$S_p \geq 57 \text{ km/h}$

In alternativa, per la misura dell'aderenza e della macrotessitura, potranno essere eseguite prove ad alto rendimento utilizzando una delle apparecchiature che hanno partecipato all'esperimento di armonizzazione dell'AIPCR (1992). Per il calcolo del parametro HS (MTD) da prove eseguite con profilometro laser l'elaborazione dei dati deve essere eseguita secondo la procedura prevista nella UNI EN ISO 13473-1.

I valori di aderenza ottenuti con tali attrezzature saranno ricondotti a valori di BPN utilizzando la relazione per il calcolo dell'IFI (AIPCR 1992), preventivamente accettata dalla D.L., con i coefficienti relativi alla particolare attrezzatura impiegata¹⁴; i valori dell'IFI (F60, S_p) calcolati utilizzando le suddette attrezzature dovranno rispettare i valori limiti riportati in Tabella 4.12. Le misure di aderenza e di macrotessitura dovranno essere effettuate in un periodo compreso tra il 60° e il 180° giorno dall'apertura al traffico. Le tratte da misurare, aventi lunghezze pari almeno a 200 m, potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia; in ogni caso, l'aderenza dovrà essere controllata per tutta l'estensione dell'intervento.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e tessitura superficiale si farà riferimento ai valori medi, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 12 valori dell'indicatore, distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale"; i valori così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Le tratte omogenee saranno individuate con una procedura statistica.

Le misure di aderenza e di tessitura dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati potranno, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici.

Ai fini di un controllo delle capacità dello strato di usura di ridurre la generazione del rumore da rotolamento sul profilo longitudinale acquisito utilizzando un profilometro laser in un periodo di tempo compreso tra il 15° e il 45° giorno dall'apertura al traffico, lo spettro di tessitura determinato secondo la procedura prevista dalla ISO/CD 13473-4 deve preferibilmente rispettare i requisiti

¹⁴ Nel caso di misure di BFC eseguite con skidometer BV11, i valori di BPN e IFI (F60; S_p) si possono calcolare con la relazioni qui riportate, definite con un errore standard della stima pari a 0.029.

$$BPN = e^{\frac{50}{S_p}} \cdot \left[-2,1984 + 113,2513 \cdot BFC \cdot e^{\frac{0,17 \cdot V - 60}{S_p}} - 2,1019 \cdot \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right) \right]$$

$$F60 = 0,03964 + 0,85618 \cdot BFC \cdot e^{\left(\frac{0,17 \cdot V - 60}{S_p} \right)} - 0,01589 \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right)$$

dove:

BPN = resistenza di attrito radente (British Pendulum Number)

BFC = coefficiente di aderenza con ruota frenata (Braking Force Coefficient)

V = velocità di esecuzione della misura (km/h)

HS = altezza di sabbia (mm)

$S_p = -11,5981 + 113,63246 \cdot HS$ (km/h)

riportati in Tabella 4.13.

Tabella 4.13 Spettro di tessitura

Lunghezza d'onda λ (mm)	Livello di tessitura L_{tx} (dB)
63,0	$\leq 39,5$
50,0	$\leq 40,5$
40,0	$\leq 41,5$
31,5	$\leq 42,5$
25,0	$\leq 43,5$
20,0	$\leq 45,0$
16,0	$\leq 45,5$
12,5	$\leq 46,5$
10,0	$\leq 47,5$
8,00	$\leq 48,0$
6,30	$\geq 44,5$
5,00	$\geq 44,0$
4,00	$\geq 43,5$
3,15	$\geq 42,0$
2,50	$\geq 40,5$
2,00	$\geq 40,0$

Dalla miscela prelevata all'atto della stesa saranno confezionati tre campioni con Pressa Giratoria, ad un numero di rotazioni pari a 50. Sulla faccia superiore dei campioni così preparati e tagliati dello spessore pari a quello di progetto verranno controllate le capacità di fonoassorbimento mediante tubo di impedenza secondo la procedura definita nella UNI EN ISO 10534-2. I valori dei coefficienti di assorbimento acustico devono essere inferiori a quelli riportati in Tabella 4.14.

Tabella 4.14 Controllo delle capacità di fonoassorbimento

Frequenza (Hz)	400	500	630	800	1000	1250	1600
Coefficiente di assorbimento acustico	$\alpha \leq 0,10$						

Regolarità

L'indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, dovrà essere:

- inferiore a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata;
- inferiore a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.

Le misure del profilo longitudinale interesseranno tutta l'estensione dell'intervento e dovranno essere eseguite in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando un profilometro laser, e dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm.

I valori dell'indice IRI verranno calcolati con un "passo" di 100 m a partire dal profilo longitudinale misurato. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si farà riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 100 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; i valori di IRI così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate. Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di

controllo.

Per percentuali dei vuoti maggiori di quelli previsti al 4.1.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Per valori di medi di BPN o F60, come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti verrà applicata una detrazione dell'5% dell'importo dello strato per ogni unità di BPN in meno o una detrazione dell'7% per ogni 0,01 unità di F60 in meno, fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata. Tali detrazioni saranno calcolate con riferimento alla larghezza complessiva dello strato di rotolamento, anche se le misure interessano una sola corsia.

Per valori di medi di HS o S_p , come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 50% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo di aderenza e macrotessitura saranno cumulate fino ad un valore massimo del 50%.

I valori della soglia di non accettabilità sono:

$$\begin{array}{ll} \text{BPN} = 55 & \text{F60} = 0,19 \\ \text{HS} = 0,5 \text{ mm} & \text{Sp} = 45 \text{ km/h} \end{array}$$

Qualora il valore medio di aderenza (BPN o F60) o di macrotessitura (HS o S_p), come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m (misure di HS con profilometro laser) sia inferiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato; in alternativa a quest'ultima operazione si potrà procedere a cura e spese dell'Impresa alla realizzazione di un nuovo strato al di sopra di quello esistente, previa stesa di una mano di attacco.

Non sono ammesse tolleranze sui valori dei coefficienti di assorbimento acustico riportati in Tabella 4.14.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità pari al valore di 3,5 mm/m.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore o uguale a tale valore, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza e alla stesa di un nuovo strato; il nuovo strato sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo e agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

4.2 MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO OPEN GRADED

4.2.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I manti di usura tipo open graded fanno parte di quella tipologia di conglomerati bituminosi detti di *nuova generazione*, impiegati per la realizzazione di manti di usura speciali a bassa emissione sonora, sono delle miscele che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottimizzare le prestazioni acustiche senza pregiudicare la durabilità, la stabilità e la sicurezza della circolazione.

Il contributo fornito alla sicurezza stradale da questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura di pavimentazioni esistenti.

Gli strati di usura tipo open graded sono delle miscele drenanti e fonoassorbenti (CDF) aventi spessore in opera di almeno 40 mm. Le miscele per strati di usura tipo open graded sono costituite da pietrischetti frantumati, poca sabbia e filler, impastate a caldo con bitume modificato che dopo compattazione presentano una porosità intercomunicante 4 o 5 volte superiore a quella di un tradizionale conglomerato per strato di usura. Questo conglomerato, ad alto contenuto tecnologico, è quindi dotato di elevata rugosità superficiale: ha funzione drenante e fonoassorbente, fornendo una buona aderenza anche in caso di pioggia.

4.2.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

4.2.2.1 AGGREGATI

La fase solida dei conglomerati per manti di usura tipo open graded è costituita da aggregati lapidei di primo impiego costituiti da elementi totalmente frantumati, sani, duri, di forma poliedrica, esenti da polveri e materiali estranei. I granuli non dovranno mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare. La miscela degli inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler, che può provenire dalla frazione fine o essere aggiunto.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Sarà costituito da pietrischi, pietrischetti e graniglie che potranno essere di provenienza e natura petrografia diversa (preferibilmente basaltica), aventi forma poliedrica a spigoli vivi che soddisfino i requisiti indicati nella Tabella 4.15. Per la miscela di aggregato grosso deve essere misurato il valore di levigabilità (PSV) per ogni provenienza o natura petrografica del materiale utilizzato: il valore di PSV misurato sulla pezzatura minima passante allo staccio di 10 mm e trattenuta allo staccio a barre a 7,2 mm, deve essere ≥ 50 .

Tabella 4.15 Requisiti dell'aggregato grosso

Indicatori di qualità				Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore	
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 20	LA_{20}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	8	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	0	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 20	FI_{20}
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	≤ 15	SI_{15}
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-
PSV	UNI EN 1097-8	%	≥ 50	PSV_{50}

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Esso deve essere costituito esclusivamente da sabbie ricavate per frantumazione di rocce e da elementi litoidi di fiume e deve possedere le caratteristiche riassunte nella [Tabella 4.16](#).

Il trattenuto allo staccio di 2 mm non deve superare il 10% qualora gli aggregati fini provengano da rocce aventi un valore di $PSV \leq 50$.

Tabella 4.16 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità				Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore	
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 80	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler**, frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm, proviene dalla frazione fine degli aggregati oppure può essere costituito da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso il filler per i manti di usura tipo open graded deve soddisfare i requisiti indicati nella [Tabella 4.17](#).

Tabella 4.17 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			Valore	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B/8/16}$

4.2.2.2 LEGANTE

I conglomerati bituminosi utilizzati per la formazione di manti di usura tipo open graded vengono confezionati con bitumi modificati cioè con bitumi semisolidi contenenti polimeri elastomerici e/o plastomerici che ne modificano la struttura chimica e le caratteristiche fisiche e meccaniche: le caratteristiche di tali bitumi sono riportate nella [Tabella 4.18](#).

Per confezionare i manti di usura tipo open graded deve essere utilizzato il bitume modificato di tipo Hard. Il rapporto filler – bitume dovrà mantenersi tra 1,1 e 1,7.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.18 Requisiti dei bitumi con modifica HARD per manti di usura tipo open graded

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	45 - 80	Classe 4
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 70	Classe 4
Force Ductility Test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 7
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 60 Classe 7
	Incremento del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 8 Classe 2
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5 Classe 3
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -15	Classe 7
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 80	Classe 2
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Intervallo di elastoplasticità	UNI EN 14023	°C	≥ 85	Classe 2
Stabilità allo stoccaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5 Classe 2
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9 Classe 2

4.2.2.3 ADDITIVI

Per migliorare le prestazioni dei conglomerati bituminosi si aggiungono agli aggregati o al bitume dei prodotti naturali o artificiali che prendono il nome di additivi.

Le fibre minerali sono degli additivi che nelle miscele ricche di graniglia e povere di sabbia hanno una funzione stabilizzante del mastice (filler+bitume) evitandone la separazione dallo scheletro litico.

Esse possono essere costituite da microfibrette di cellulosa, di vetro, acriliche, ecc.: devono possedere i requisiti indicati in Tabella 4.19.

Tabella 4.19 Requisiti delle fibre minerali

Caratteristiche geometrico-mecaniche	Unità di misura	Valore
Lunghezza media bavella	micron	200/300
Diametro medio fibra	micron	8/15
Superficie specifica fibra	cm ² /g	2700
Resistenza alla trazione	GPa	da 1,5 a 2,5
Allungamento massimo	%	da 1,5 a 2,5
Resistenza alla temperatura	°C	≥ 550

4.2.3 MISCELA

4.2.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La miscela degli aggregati da adottarsi per i conglomerati bituminosi tipo open graded deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 4.20.

Per migliorare la stabilità del mastice bituminoso la miscela deve essere additivata, mediante idonee apparecchiature, con fibre minerali in quantità comprese tra lo 0,25% e lo 0,40% rispetto al peso degli aggregati.

Gli strati di usura tipo open graded devono avere uno spessore di almeno 40 mm. La percentuale di bitume, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa Tabella 4.20.

La quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31.

Tabella 4.20 Requisiti granulometrici della miscela per conglomerati bituminosi tipo open graded

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	8	100
Staccio	6,3	85 – 100
Staccio	4	20 – 35
Staccio	2	4 – 18
Staccio	0,5	4 – 11
Staccio	0,25	4 – 9
Staccio	0,125	4 – 7
Staccio	0,063	4 – 6
Percentuale di bitume		5,0% – 6,0%
Spessore (mm)		≥ 40

Le caratteristiche richieste per i conglomerati bituminosi tipo open graded sono riportate nella Tabella 4.21.

Tabella 4.21 Requisiti della miscela per conglomerati bituminosi tipo open graded studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	100
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	30 – 34
Vuoti a 50 rotazioni (*) (**) (***)	%	25 – 29
Vuoti a 130 rotazioni (*)	%	≥ 23
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 0,4
Coefficiente di trazione indiretta CTI ¹⁵ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 35
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8

(**) La massa volumica ottenuta con 50 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

(***) Su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria

4.2.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità della miscela di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

4.2.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di ± 1,5 punti percentuali.

Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di ± 0,25%.

Tali valori devono essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate all'impianto e alla stesa come pure dall'esame delle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità

¹⁵ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

teorica del bitume di ancoraggio.

4.2.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

4.2.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il conglomerato deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

In ciascun impianto, la produzione non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamiento degli inerti, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati. Possono essere impiegati anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti della miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190°C e quella del legante modificato tra 160°C e 180°C.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

4.2.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

Prima di iniziare la stesa del conglomerato bituminoso drenante e fonoassorbente va verificata l'efficienza delle opere per il deflusso delle acque. Se non sono rispettate le pendenze trasversali del piano di posa (sempre $> 2,5\%$), questo deve essere risagomato; inoltre, devono essere verificate le condizioni di regolarità longitudinale e la presenza di ormaie, per valutare la necessità di eseguire un intervento preliminare di regolarizzazione del piano di posa dello strato di usura. Questi sono necessari qualora l'IRI sia maggiore di 1,8 mm/m e di 2,0 mm/m, rispettivamente per intervento su tutta o su parte della carreggiata, e le ormaie abbiano profondità maggiore di 10 mm. Eventuali interventi preliminari di risanamento profondo o di rinforzo della pavimentazione esistente, necessari a garantire la vita utile richiesta, devono essere previsti in fase di progettazione. E' poi necessario provvedere ad una accurata pulizia della superficie stradale eliminando anche l'eventuale preesistente segnaletica orizzontale. Successivamente, in base alle caratteristiche del piano di posa, si procederà nei modi di seguito descritti:

- qualora il tappeto di usura tipo open graded debba essere posizionato su di una vecchia pavimentazione fresata, in buone condizioni, senza fessurazioni, verrà stesa come impermeabilizzazione per la struttura sottostante, una membrana sottile realizzata con bitumi modificati tipo Hard spruzzati a caldo (temperatura $> 180^\circ\text{C}$) in ragione di $1,20 \pm 0,2 \text{ kg/m}^2$, mediante apposite macchine spanditrici automatiche in grado di assicurare l'uniforme

distribuzione del prodotto ed il dosaggio previsto. Il bitume modificato steso a caldo avrà le caratteristiche riportate in Tabella 4.18. Per evitare il danneggiamento della membrana che potrebbe essere causata dall'adesione dei mezzi di cantiere alla stessa, si dovrà provvedere allo spandimento, con apposito mezzo, di graniglia basaltica prebitumata aente pezzatura 4/8 mm, in quantità di circa 6-8 l/m².

- Nel caso in cui lo strato di usura tipo open graded debba essere realizzato su di una vecchia pavimentazione fresata ma fessurata, si metterà in opera una membrana rinforzata SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Essa permette di garantire un perfetto ancoraggio con la pavimentazione esistente, di impermeabilizzare la struttura esistente, di prevenire la risalita di eventuali fessure dagli strati sottostanti e distribuire uniformemente le tensioni dovute al passaggio dei veicoli. La posa in opera della SAMI sarà preceduta dalla pulizia della superficie stradale allo scopo di eliminare polveri ed eventuali detriti dal piano viabile. Per realizzare la SAMI si procederà allo spargimento di bitume modificato tipo Hard a caldo (temperatura > 180°C) in ragione di $2,2 \pm 0,2$ kg/m², mediante apposite macchine spanditrici automatiche in grado di assicurare l'uniforme distribuzione del prodotto ed il dosaggio previsto. Il bitume modificato avrà le caratteristiche riportate in Tabella 4.18. Successivamente si provvederà alla stesa immediata della graniglia, aente pezzatura di 8-12 mm, data uniformemente a mezzo di apposito spandigraniglia in quantità di circa 20 l/m². Quest'ultima operazione sarà seguita dal passaggio di rullo gommato e successivamente della motospazzatrice per l'asporto della graniglia non bene ancorata alla membrana.
- Nel caso in cui lo strato di usura tipo open graded debba essere realizzato su di una pavimentazione in conglomerato bituminoso in buone condizioni, la mano d'attacco impermeabilizzante verrà eseguita con la spruzzatura di una emulsione di bitume modificato con le caratteristiche minime riportate in Tabella 4.22, effettuata mediante apposite macchine spanditrici automatiche in ragione di $1,5 \pm 0,2$ kg/m² e successiva granigliatura come descritto al primo punto.

Il legante a base di bitume impiegato per la preparazione della superficie di stesa dovrà essere qualificato in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.22 Caratteristiche minime di accettazione dell'emulsione di bitume modificato

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	$\geq 1,4$	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

4.2.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

La posa in opera dei manti di usura tipo open graded viene effettuata a mezzo di macchine

vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3-4 m/min con alimentazione continua del conglomerato. Lo spessore dello strato deve essere posato per la sua intera altezza (spessore minimo: 40 mm) con un'unica passata, limitando il più possibile le interruzioni della stesa ed evitando interventi manuali per la correzione delle anomalie. Considerata la marcata rapidità di raffreddamento dei tappeti tipo open graded dipendente dalla elevata porosità degli spessori, va interdetta la stesa a temperatura ambientale inferiore a 8 °C.

Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi. Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

La sovrapposizione dei giunti longitudinali con quelli degli strati sottostanti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti. Nel caso di tappeti tipo open graded e fonoassorbenti, per non ridurre la capacità drenante dello strato, è escluso il ricorso a mani d'attacco con legante bituminoso sul bordo freddo longitudinale della striscia realizzata in precedenza. Eccezionalmente si può riscaldare il bordo della striscia adiacente già stesa con il ristuccatore a raggi infrarossi montato sulla finitrice.

Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Il conglomerato eventualmente compromesso deve essere immediatamente rimosso e successivamente lo strato deve essere ricostruito a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

Il costipamento deve essere realizzato mediante rullo statico a ruote metalliche del peso massimo di 15t.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

La superficie degli strati deve presentarsi, dopo la compattazione, priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del manto di usura verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

4.2.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi per manti di usura tipo open graded e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in sito.

4.2.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 4.23.

Tabella 4.23 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 4.18
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 4.15
Aggregato fine	Impianto	Tabella 4.16
Filler	Impianto	Tabella 4.17

4.2.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il tipo di prelievi da eseguire è riportato in Tabella 4.24. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 4.2.3.

Tabella 4.24 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela

4.2.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il tipo di prelievo da eseguire è riportato nella Tabella 4.25.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere non inferiore a quello previsto nel progetto.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 4.25 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Caratteristiche superficiali

Sulle pavimentazioni finite dovranno essere eseguite prove per il controllo dei valori di aderenza e macrotessitura superficiale dello strato di usura con le frequenze riportate in [Tabella 4.26](#). Le misure di aderenza (resistenza ad attrito radente) eseguite con lo Skid Tester secondo la norma UNI EN 13036-4, dovranno fornire valori di BPN (British Pendulum Number) ≥ 60 . La tessitura superficiale, misurata con l'altezza di sabbia (HS), determinata secondo la metodologia riportata nella UNI EN 13036-1, deve risultare $\geq 0,8$ mm.

Tabella 4.26 Controllo delle caratteristiche superficiali

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	BPN ≥ 60
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	HS $\geq 0,8$ mm
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	F60 $\geq 0,30$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	SP ≥ 79 km/h

In alternativa, per la misura dell'aderenza e della macrotessitura, potranno essere eseguite prove ad alto rendimento utilizzando una delle apparecchiature che hanno partecipato all'esperimento di armonizzazione dell'AIPCR (1992). Per il calcolo del parametro HS (MTD) da prove eseguite con profilometro laser l'elaborazione dei dati deve essere eseguita secondo la procedura prevista nella UNI ISO 13473-1.

I valori di aderenza ottenuti con tali attrezzature saranno ricondotti a valori di BPN utilizzando la relazione per il calcolo dell'IFI (AIPCR 1992), preventivamente accettata dalla D.L., con i coefficienti relativi alla particolare attrezzatura impiegata¹⁶; i valori dell'IFI (F60, S_P) calcolati

¹⁶ Nel caso di misure di BFC eseguite con skiddometer BV11, i valori di BPN e IFI (F60; S_P) si possono calcolare con la relazioni qui riportate, definite con un errore standard della stima pari a 0.029.

$$BPN = e^{\frac{50}{SP}} \cdot \left[-2,1984 + 113,2513 \cdot BFC \cdot e^{\frac{0,17 \cdot V - 60}{SP}} - 2,1019 \cdot \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right) \right]$$

$$F60 = 0,03964 + 0,85618 \cdot BFC \cdot e^{\left(\frac{0,17 \cdot V - 60}{SP} \right)} - 0,01589 \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right)$$

dove:

BPN = resistenza di attrito radente (British Pendulum Number)

BFC = coefficiente di aderenza con ruota frenata (Braking Force Coefficient)

V = velocità di esecuzione della misura (km/h)

HS = altezza di sabbia (mm)

S_P = $-11,5981 + 113,63246 \cdot HS$ (km/h)

utilizzando le suddette attrezzature dovranno rispettare i valori limiti riportati in Tabella 4.26. Le misure di aderenza e di macrotessitura dovranno essere effettuate in un periodo compreso tra il 60° e il 180° giorno dall'apertura al traffico. Le tratte da misurare, aventi lunghezze pari almeno a 200 m, potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia; in ogni caso, l'aderenza dovrà essere controllata per tutta l'estensione dell'intervento.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e tessitura superficiale si farà riferimento ai valori medi, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 12 valori dell'indicatore, distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale"; i valori così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Le tratte omogenee saranno individuate con una procedura statistica.

Le misure di aderenza e di tessitura dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati potranno, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici.

Ai fini di un controllo delle capacità dello strato di usura di ridurre la generazione del rumore da rotolamento sul profilo longitudinale acquisito utilizzando un profilometro laser in un periodo di tempo compreso tra il 15° e il 45° giorno dall'apertura al traffico, lo spettro di tessitura determinato secondo la procedura prevista dalla ISO/CD 13473-4 deve preferibilmente rispettare i requisiti riportati in Tabella 4.27.

Tabella 4.27 Spettro di tessitura

Lunghezza d'onda λ (mm)	Livello di tessitura L_{tx} (dB)
63,0	$\leq 43,5$
50,0	$\leq 44,5$
40,0	$\leq 45,5$
31,5	$\leq 46,5$
25,0	$\leq 47,5$
20,0	$\leq 48,5$
16,0	$\leq 49,5$
12,5	$\leq 50,5$
10,0	$\geq 46,5$
8,00	$\geq 46,5$
6,30	$\geq 46,0$
5,00	$\geq 45,0$
4,00	$\geq 44,0$
3,15	$\geq 43,0$
2,50	$\geq 42,5$
2,00	$\geq 42,5$

In situ dovrà essere misurata la capacità drenante con il permeametro portatile a colonna d'acqua secondo la norma francese AFNOR NF P 98-254-3 e con la frequenza riportata in Tabella 4.28. La capacità drenante misurata deve essere $\geq 4 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Tabella 4.28 Controllo della capacità drenante

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Su tre postazioni	Capacità drenante $\geq 4 \text{ dm}^3/\text{min}$

Dalla miscela prelevata all'atto della stesa saranno confezionati tre campioni con Pressa Giratoria, ad un numero di rotazioni pari a 50. Sulla faccia superiore dei campioni così preparati e tagliati dello spessore pari a quello di progetto verranno controllate le capacità di fonoassorbimento mediante tubo di impedenza secondo la procedura definita nella UNI EN ISO 10534-2. I valori dei coefficienti di assorbimento acustico devono essere inferiori a quelli riportati in Tabella 4.29, per almeno 5 delle 7 frequenze indicate.

Tabella 4.29 Controllo delle capacità di fonoassorbimento

Frequenza (Hz)	400	500	630	800	1000	1250	1600
Coefficiente di assorbimento acustico	$\alpha \geq 0,10$	$\alpha \geq 0,20$	$\alpha \geq 0,30$	$\alpha \geq 0,60$	$\alpha \geq 0,30$	$\alpha \geq 0,25$	$\alpha \geq 0,20$

Regolarità

L'indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, dovrà essere:

- inferiore a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata;
- inferiore a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.

Le misure del profilo longitudinale interesseranno tutta l'estensione dell'intervento e dovranno essere eseguite in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando un profilometro laser, e dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm.

I valori dell'indice IRI verranno calcolati con un "passo" di 100 m a partire dal profilo longitudinale misurato. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si farà riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 100 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; i valori di IRI così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate. Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.

Tolleranze sui risultati e penalità

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per percentuali dei vuoti maggiori di quelli previsti al 4.2.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Per valori di medi di BPN o F60, come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti verrà applicata una detrazione dell'5% dell'importo dello strato per ogni unità di BPN in meno o una detrazione dell'5,5% per ogni 0,01 unità di F60 in meno, fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata. Tali detrazioni saranno calcolate a riferimento la larghezza complessiva dello strato di rotolamento, anche se le misure interessano una sola corsia.

Per valori di medi di HS o S_p , come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 50% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo di aderenza e macrotessitura saranno cumulate fino ad un valore massimo del 50%.

I valori della soglia di non accettabilità sono:

$$\begin{array}{l} \text{BPN} = 50 \\ \text{HS} = 0,6 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{F60}=0,21 \\ \text{Sp}=57 \text{ km/h} \end{array}$$

Qualora il valore medio di aderenza (BPN o F60) o di macrotessitura (HS o Sp), come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m (misure di HS con profilometro laser) sia inferiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato.

Per valori della capacità drenante minori dei limiti previsti nella Tabella 4.28 verrà applicata una riduzione del 10% del prezzo comprensivo della mano d'attacco.

Non sono ammesse tolleranze sui valori dei coefficienti di assorbimento acustico riportati in Tabella 4.29.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità pari al valore di 3,5 mm/m.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore o uguale a tale valore, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza e alla stesa di un nuovo strato; il nuovo strato sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo e agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

4.3 MANTI DI USURA A TESSITURA OTTIMIZZATA REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO DENSE GRADED

4.3.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded sono delle miscele di conglomerato bituminoso di tipo chiuso con caratteristiche granulometriche tali da ridurre, rispetto a manti di usura di tipo tradizionale, le emissioni sonore generate dal contatto ruota-pavimentazione. La riduzione del rumore da rotolamento è dovuta esclusivamente al particolare assortimento granulometrico, che consente di ottenere manti di usura con caratteristiche di tessitura tali da ridurre il rumore prodotto dai fenomeni di risonanza che si generano al contatto ruota-pavimentazione. Per questo motivo si parla di manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded.

4.3.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

4.3.2.1 AGGREGATI

Gli aggregati lapidei di primo impiego risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fine o di additivazione: tali aggregati costituiscono la fase solida dei manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee e da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 4.30. Per la miscela di aggregato grosso deve essere misurato il valore di levigabilità (PSV) per ogni provenienza o natura petrografica del materiale utilizzato: il valore di PSV misurato sulla pezzatura minima passante allo staccio di 10 mm e trattenuta allo staccio a barre a 7,2 mm, deve essere ≥ 50 .

Tabella 4.30 Requisiti dell'aggregato grosso per strati di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded

Parametro	Indicatori di qualità			Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura	Valore	
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 20	LA_{20}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	8	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	0	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 20	FI_{20}
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	≤ 15	SI_{15}
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-
PSV	UNI EN 1097-8	%	≥ 50	PSV_{50}

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0,063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 4.31.

Il trattenuto allo staccio di 2 mm non deve superare il 10% qualora gli aggregati fini provengano da rocce aventi un valore di $PSV \leq 50$.

Tabella 4.31 Requisiti dell'aggregato fine per strati di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded

Indicatori di qualità				Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore	
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 80	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati: può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded deve soddisfare i requisiti indicati in Tabella 4.32.

Tabella 4.32 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			Valore	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B} 8/16$

4.3.2.2 LEGANTE

I conglomerati bituminosi utilizzati per la formazione di manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded vengono confezionati con bitumi modificati cioè con bitumi semisolidi contenenti polimeri elastomerici e/o plastomerici che ne modificano la struttura chimica e le caratteristiche fisiche e meccaniche: le caratteristiche di tali bitumi sono riportate nella Tabella 4.33.

Per confezionare i conglomerati a tessitura ottimizzata tipo dense graded deve essere utilizzato il bitume modificato di tipo Hard. Il rapporto filler – bitume dovrà mantenersi tra 1,1 e 1,7.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.33 Requisiti dei bitumi con modifica HARD per strati di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifica UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	45 - 80	Classe 4
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 65	Classe 5
Force Ductility Test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 7
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 60 Classe 7
	Incremento del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 8 Classe 2
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5 Classe 3
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -15	Classe 7
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 80	Classe 2
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Intervallo di elastoplasticità	UNI EN 14023	°C	≥ 80	Classe 3
Stabilità allo stocaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5 Classe 2
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9 Classe 2

4.3.2.3 ADDITIVI

Per migliorare le prestazioni dei conglomerati bituminosi si aggiungono agli aggregati o al bitume dei prodotti naturali o artificiali che prendono il nome di additivi.

Attivanti d'adesione

Gli attivanti d'adesione sono additivi tensioattivi che favoriscono l'adesione bitume - aggregato, utilizzati per migliorare la durabilità all'acqua delle miscele bituminose.

Il loro dosaggio va specificato obbligatoriamente nello studio della miscela e può variare a seconda delle condizioni di impiego, della natura degli aggregati e delle caratteristiche del prodotto. La scelta del tipo e del dosaggio di additivo dovrà essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua riportate nelle Tabella 4.30, Tabella 4.35. L'attivante di adesione scelto deve presentare, in ogni caso, caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180 °C) per lunghi periodi (15 giorni). Per immettere le sostanze tensioattive nel bitume devono essere impiegate attrezzature idonee, al fine di garantire l'esatto dosaggio e la loro perfetta dispersione nel legante bituminoso.

La presenza ed il dosaggio degli attivanti d'adesione nel bitume vengono verificati mediante la prova di separazione cromatografica su strato sottile.

4.3.3 MISCELA

4.3.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La miscela degli aggregati di primo impiego da adottarsi per i manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 4.34. La percentuale di legante totale, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella.

Gli strati di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded devono avere uno spessore di almeno 30

mm. La quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31. Le caratteristiche richieste per questi strati sono riportate nella Tabella 4.35.

Tabella 4.34 Requisiti granulometrici della miscela per strati di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	8	100
Staccio	6,3	90 – 100
Staccio	4	65 – 85
Staccio	2	40 – 55
Staccio	1	25 – 35
Staccio	0,5	15 – 23
Staccio	0,25	10 – 17
Staccio	0,125	6 – 12
Staccio	0,063	6 – 10
Percentuale di bitume		5,5% – 6,5%
Spessore (mm)		≥ 30

Tabella 4.35 Requisiti della miscela per strati di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	100
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	10 – 14
Vuoti a 100 rotazioni (*)(**)	%	3 – 6
Vuoti a 180 rotazioni(*)	%	≥ 2
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 0,8
Coefficiente di trazione indiretta CTI ¹⁷ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 50
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 100 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G
 (***) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria

4.3.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i

$$^{17} \text{ Coefficiente di trazione indiretta: } \text{CTI} = \frac{\pi \cdot D \cdot \text{ITS}}{2 \cdot D_c}$$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

risultati delle prove di accettazione e d'idoneità della miscela di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

4.3.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica sono ammessi scostamenti delle singole percentuali dell'aggregato grosso, dell'aggregato fine e del passante allo staccio UNI 0,063 mm purché compatibili con i limiti del fuso riportato in Tabella 4.34. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in situ, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

4.3.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

4.3.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Al fine di garantire il perfetto essiccamiento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità. Si possono impiegare anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare la miscela rispondente a quella indicata nello studio presentato ai fini dell'accettazione: ogni impianto deve, poi, assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo $0,25\%$ in peso.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190°C e quella del legante tra 160°C e 180°C .

Gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati per consentire la verifica delle suddette temperature.

4.3.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

Prima di iniziare la stesa del manto di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded è necessario controllare che siano rispettate le pendenze trasversali del piano di posa (sempre $> 2,5\%$), in caso contrario questo deve essere risagomato; inoltre, devono essere verificate le condizioni di regolarità longitudinale e la presenza di ormaie, per valutare la necessità di eseguire un intervento preliminare di regolarizzazione del piano di posa dello strato di usura. Questi sono necessari qualora l'IRI sia maggiore di 1,8 mm/m e di 2,0 mm/m, rispettivamente per intervento su tutta o su parte della carreggiata, e le ormaie abbiano profondità maggiore di 10 mm. Eventuali interventi preliminari di risanamento profondo o di rinforzo della pavimentazione esistente, necessari a garantire la vita utile richiesta, devono essere previsti in fase di progettazione. E' poi necessario provvedere ad una accurata pulizia della superficie stradale eliminando anche l'eventuale preesistente segnaletica orizzontale.

La preparazione della superficie di stesa va eseguita prima della realizzazione dello strato di usura allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. Questo tipo di lavorazione, denominata mano d'attacco, consiste nell'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60 % oppure al 65 % di legante), le cui caratteristiche sono riportate in [Tabella 4.36](#) dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in [Tabella 4.37](#) dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55 % di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella [Tabella 4.36](#) e [Tabella 4.37](#) per ciascun tipo di emulsione.

Prima dell'inizio dei lavori, ai fini dell'accettazione del legante per mani d'attacco, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione del prodotto tramite certificazione attestante i requisiti indicati.

Il legante a base di bitume impiegato per le mani di attacco dovrà essere qualificato in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.36 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani d'attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 4.37 Requisiti delle emulsioni bituminose modificate per mani d'attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	≥ 1,4	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

4.3.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

I conglomerati bituminosi saranno posti in opera mediante macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento; in ogni caso, le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi. La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3-4 m/min con alimentazione continua del conglomerato. Lo spessore dello strato deve essere posato per la sua intera altezza (spessore minimo: 30 mm) con un'unica passata, limitando il più possibile le interruzioni della stesa ed evitando interventi manuali per la correzione delle anomalie.

Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente con l'impiego di due finitrici; qualora ciò non sia possibile, il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni; inoltre, la temperatura della miscela all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato preferibilmente con rulli gommati, ma può essere utilizzato anche un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 15 t.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del manto di usura verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

4.3.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi per manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in situ.

4.3.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna. I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 4.38.

Tabella 4.38 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 4.33
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 4.30
Aggregato fine	Impianto	Tabella 4.31
Filler	Impianto	Tabella 4.32

4.3.5.2 CONTROLLO DELLE MISCELE PRELEVATE AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il tipo di prelievi da eseguire è riportato in [Tabella 4.39](#). Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 4.3.3.

Tabella 4.39 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela

4.3.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il tipo di prelievo da eseguire è riportato nella [Tabella 4.40](#).

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere non inferiore a quello previsto nel progetto.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 4.40 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Caratteristiche superficiali

Sulle pavimentazioni finite dovranno essere eseguite prove per il controllo dei valori di aderenza e macrotessitura superficiale dello strato di usura con le frequenze riportate in [Tabella 4.41](#). Le misure di aderenza (resistenza ad attrito radente) eseguite con lo Skid Tester secondo la norma UNI EN 13036-4, dovranno fornire valori di BPN (British Pendulum Number) ≥ 65 . La tessitura superficiale, misurata con l'altezza di sabbia (HS), determinata secondo la metodologia riportata nella UNI EN 13036-1, deve risultare $\geq 0,5$ mm.

Tabella 4.41 Controllo delle caratteristiche superficiali

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	$BPN \geq 65$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	$HS \geq 0,5 \text{ mm}$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	$F60 \geq 0,22$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	$S_p \geq 45 \text{ km/h}$

In alternativa, per la misura dell'aderenza e della macrotessitura, potranno essere eseguite prove ad alto rendimento utilizzando una delle apparecchiature che hanno partecipato all'esperimento di armonizzazione dell'AIPCR (1992). Per il calcolo del parametro HS (MTD) da prove eseguite con profilometro laser l'elaborazione dei dati deve essere eseguita secondo la procedura prevista nella UNI EN ISO 13473-1.

I valori di aderenza ottenuti con tali attrezzature saranno ricondotti a valori di BPN utilizzando la relazione per il calcolo dell'IFI (AIPCR 1992), preventivamente accettata dalla D.L., con i coefficienti relativi alla particolare attrezzatura impiegata¹⁸; i valori dell'IFI (F60, S_p) calcolati utilizzando le suddette attrezzature dovranno rispettare i valori limiti riportati in Tabella 4.41. Le misure di aderenza e di macrotessitura dovranno essere effettuate in un periodo compreso tra il 60° e il 180° giorno dall'apertura al traffico. Le tratte da misurare, aventi lunghezze pari almeno a 200 m, potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia; in ogni caso, l'aderenza dovrà essere controllata per tutta l'estensione dell'intervento.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e tessitura superficiale si farà riferimento ai valori medi, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 12 valori dell'indicatore, distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale"; i valori così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Le tratte omogenee saranno individuate con una procedura statistica.

Le misure di aderenza e di tessitura dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati potranno, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici.

Ai fini di un controllo delle capacità dello strato di usura di ridurre la generazione del rumore da rotolamento sul profilo longitudinale acquisito utilizzando un profilometro laser in un periodo di tempo compreso tra il 15° e il 45° giorno dall'apertura al traffico, lo spettro di tessitura determinato

¹⁸ Nel caso di misure di BFC eseguite con skiddometer BV11, i valori di BPN e IFI (F60; S_p) si possono calcolare con la relazioni qui riportate, definite con un errore standard della stima pari a 0.029.

$$BPN = e^{\frac{50}{S_p}} \cdot \left[-2,1984 + 113,2513 \cdot BFC \cdot e^{\frac{0,17 \cdot V - 60}{S_p}} - 2,1019 \cdot \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right) \right]$$

$$F60 = 0,03964 + 0,85618 \cdot BFC \cdot e^{\frac{(0,17 \cdot V - 60)}{S_p}} - 0,01589 \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right)$$

dove:

BPN = resistenza di attrito radente (British Pendulum Number)

BFC = coefficiente di aderenza con ruota frenata (Braking Force Coefficient)

V = velocità di esecuzione della misura (km/h)

HS = altezza di sabbia (mm)

$S_p = -11,5981 + 113,63246 \cdot HS$ (km/h)

secondo la procedura prevista dalla ISO/CD 13473-4 deve preferibilmente rispettare i requisiti riportati in Tabella 4.42.

Tabella 4.42 Spettro di tessitura

Lunghezza d'onda λ (mm)	Livello di tessitura L_{tx} (dB)
63,0	$\leq 38,0$
50,0	$\leq 39,5$
40,0	$\leq 40,5$
31,5	$\leq 41,0$
25,0	$\leq 42,0$
20,0	$\leq 43,0$
16,0	$\leq 44,0$
12,5	$\leq 45,0$
10,0	$\leq 46,0$
8,00	$\leq 47,0$
6,30	$\leq 48,0$
5,00	$\geq 44,0$
4,00	$\geq 44,0$
3,15	$\geq 43,5$
2,50	$\geq 42,0$
2,00	$\geq 41,5$

Dalla miscela prelevata all'atto della stesa saranno confezionati tre campioni con Pressa Giratoria, ad un numero di rotazioni pari a 100. Sulla faccia superiore dei campioni così preparati e tagliati dello spessore pari a quello di progetto verranno controllate le capacità di fonoassorbimento mediante tubo di impedenza secondo la procedura definita nella UNI EN ISO 10534-2. I valori dei coefficienti di assorbimento acustico devono essere inferiori a quelli riportati in Tabella 4.43.

Tabella 4.43 Controllo delle capacità di fonoassorbimento

Frequenza (Hz)	400	500	630	800	1000	1250	1600
Coefficiente di assorbimento acustico	$\alpha \leq 0,10$						

Regolarità

L'indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, dovrà essere:

- inferiore a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata;
- inferiore a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.

Le misure del profilo longitudinale interesseranno tutta l'estensione dell'intervento e dovranno essere eseguite in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando un profilometro laser, e dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm.

I valori dell'indice IRI verranno calcolati con un "passo" di 100 m a partire dal profilo longitudinale misurato. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si farà riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 100 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; i valori di IRI così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate. Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per percentuali dei vuoti maggiori di quelli previsti al 4.3.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso, fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Per valori di medi di BPN o F60, come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti verrà applicata una detrazione dell'5% dell'importo dello strato per ogni unità di BPN in meno o una detrazione dell'7% per ogni 0,01 unità di F60 in meno, fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità approssimativamente specificata. Tali detrazioni saranno calcolate a riferimento la larghezza complessiva dello strato di rotolamento, anche se le misure interessano una sola corsia.

Per valori di medi di HS o S_p , come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 50% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità approssimativamente specificata.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo di aderenza e macrotessitura saranno cumulate fino ad un valore massimo del 50%.

I valori della soglia di non accettabilità sono:

$$\begin{array}{ll} \text{BPN} = 55 & \text{F60} = 0,15 \\ \text{HS} = 0,4 \text{ mm} & \text{Sp} = 34 \text{ km/h} \end{array}$$

Qualora il valore medio di aderenza (BPN o F60) o di macrotessitura (HS o S_p), come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m (misure di HS con profilometro laser) sia inferiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stessa di un nuovo strato; in alternativa a quest'ultima operazione si potrà procedere a cura e spese dell'Impresa alla realizzazione di un nuovo strato al di sopra di quello esistente, previa stesa di una mano di attacco.

Non sono ammesse tolleranze sui valori dei coefficienti di assorbimento acustico riportati in Tabella 4.43.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità pari al valore di 3,5 mm/m.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore o uguale a tale valore, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza e alla stessa di un nuovo strato; il nuovo strato sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo e agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

4.4 MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO DENSE GRADED CONTENENTI ARGILLA ESPANSA

4.4.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I manti di usura tipo dense graded con argilla espansa sono delle miscele di conglomerato bituminoso tradizionali in cui una parte dell'inerte è costituito da argilla espansa. L'impiego di questo materiale nella realizzazione dello strato superficiale della sovrastruttura consente di ottenere manti d'usura di tipo chiuso con caratteristiche superficiali tali con caratteristiche granulometriche tali da ridurre, rispetto a manti di usura di tipo tradizionale, le emissioni sonore generate dal contatto ruota-pavimentazione da migliorare le caratteristiche di aderenza e ridurre le emissioni di rumore da rotolamento rispetto ai manti di usura di tipo tradizionale chiusi confezionati con soli inerti naturali. Un tale miglioramento in termini di aderenza è dovuto alla elevata microrugosità superficiale che presentano le particelle di argilla espansa, mentre la riduzione delle emissioni sonore è dovuta esclusivamente alla forma sferica delle singole particelle di argilla espansa che consente di ottenere manti di usura con caratteristiche di tessitura tali da ridurre il rumore prodotto dai fenomeni di risonanza che si generano al contatto ruota-pavimentazione.

La composizione granulometrica della miscela deve essere studiata in volume e non in massa; ciò è essenziale, in fase di progettazione della miscela per considerare correttamente la differente massa volumica della componente litica e dell'argilla espansa.

4.4.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

4.4.2.1 AGGREGATI

La fase solida della miscela è costituita da argilla espansa e da aggregati lapidei di primo impiego costituiti da elementi totalmente frantumati, sani, duri, di forma poliedrica, esenti da polveri e materiali estranei. I granuli non dovranno mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare. La miscela degli inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi naturali, degli aggregati fini, del filler, che può provenire dalla frazione fina o essere aggiunto e da una percentuale in peso di argilla espansa pari al 25% del totale.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso naturale

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee e da elementi naturali a spigoli vivi. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 4.44. Per la miscela di aggregato grosso deve essere misurato il valore di levigabilità (PSV) per ogni provenienza o natura petrografica del materiale utilizzato: il valore di PSV misurato sulla pezzatura minima passante allo staccio di 10 mm e trattenuta allo staccio a barre a 7,2 mm, deve essere ≥ 50 .

Tabella 4.44 Requisiti dell'aggregato grosso naturale per strati di usura tipo dense graded con argilla espansa

Parametro	Indicatori di qualità			Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura	Valore	
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 20	LA_{20}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	8	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	0	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 20	FI_{20}
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	≤ 15	SI_{15}
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-
PSV	UNI EN 1097-8	%	≥ 50	PSV_{50}

Argilla espansa

L'argilla espansa di tipo "strutturale" deve rispondere alle caratteristiche riportate nella [Tabella 4.45](#).

Tabella 4.45 Requisiti dell'argilla espansa di tipo "strutturale" per strati di usura tipo dense graded con argilla espansa

Parametro	Indicatori di qualità		VALORE
	Normativa	Unità di misura	
Dimensione	(*)	mm	0 – 5
Resistenza allo frantumazione	UNI EN 13055-1	N/mm ²	$\geq 10,0$
PSV	UNI EN 1097-8	%	≥ 62

(*) La dimensione non si riferisce al diametro in mm dei granuli di argilla espansa ma è una denominazione di carattere commerciale

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0,063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione e possedere le caratteristiche riassunte nella [Tabella 4.46](#). Il trattenuto allo staccio di 2 mm non deve superare il 10% qualora gli aggregati fini provengano da rocce aventi un valore di PSV ≤ 50 .

Tabella 4.46 Requisiti dell'aggregato fine per strati di usura tipo dense graded con argilla espansa

Parametro	Indicatori di qualità			Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura	Valore	
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 80	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler** è la frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm e proviene dalla frazione fine degli aggregati: può essere costituito, inoltre, da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso, il filler per manti di usura tipo dense graded con argilla espansa deve soddisfare i requisiti indicati in [Tabella 4.47](#).

Tabella 4.47 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			Valore	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B} 8/16$

4.4.2.2 LEGANTE

I conglomerati bituminosi utilizzati per la formazione di manti di usura tipo dense graded con argilla espansa vengono confezionati con bitumi modificati cioè con bitumi semisolidi contenenti polimeri elastomerici e/o plastomerici che ne modificano la struttura chimica e le caratteristiche fisiche e meccaniche: le caratteristiche di tali bitumi sono riportate nella Tabella 4.48.

Per confezionare i conglomerati tipo dense graded con argilla espansa deve essere utilizzato il bitume modificato di tipo Hard. Il rapporto filler – bitume dovrà mantenersi tra 1,1 e 1,7.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.48 Requisiti dei bitumi con modifica HARD per strati di usura tipo dense graded con argilla espansa

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifica UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	45 - 80	Classe 4
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 65	Classe 5
Force Ductility Test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 7
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 60 Classe 7
	Incremento del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 8 Classe 2
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5 Classe 3
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -15	Classe 7
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 80	Classe 2
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Intervallo di elastoplasticità	UNI EN 14023	°C	≥ 80	Classe 3
Stabilità allo stoccaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5 Classe 2
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9 Classe 2

4.4.3 MISCELA

4.4.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La miscela degli aggregati naturali di primo impiego e di argilla espansa da adottarsi per i manti di usura tipo dense graded con argilla espansa deve avere una composizione granulometrica contenuta

nei fusi riportati in Tabella 4.49. La percentuale di legante e di argilla espansa, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella.

Dalla granulometria eseguita sull'argilla espansa la percentuale di passante allo staccio UNI 8 mm deve essere uguale al 100% in peso; inoltre la percentuale di passante allo staccio UNI 2 mm deve essere inferiore od uguale al 40% in peso.

Gli strati di usura tipo dense graded con argilla espansa devono avere uno spessore di almeno 30 mm. La quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31. Le caratteristiche richieste per questi strati sono riportate nella Tabella 4.50.

Tabella 4.49 Requisiti granulometrici della miscela per strati di usura tipo dense graded con argilla espansa

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %	Passante totale in volume %
Staccio	8	100	100
Staccio	6,3	90 – 100	90 – 100
Staccio	4	65 – 85	63 – 83
Staccio	2	40 – 55	34 – 49
Staccio	1	25 – 35	20 – 30
Staccio	0,5	15 – 23	10 – 18
Staccio	0,25	10 – 17	7 – 14
Staccio	0,125	6 – 12	4 – 10
Staccio	0,063	6 – 10	4 – 8
Percentuale di argilla espansa		25%	
Percentuale di bitume		7,5% – 8,5%	
Spessore (mm)		≥ 30	

Tabella 4.50 Requisiti della miscela per strati di usura tipo dense graded con argilla espansa studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	100
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	14 – 18
Vuoti a 100 rotazioni (*) ^(**)	%	5 – 8
Vuoti a 180 rotazioni ^(*)	%	≥ 2
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C ^(***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 0,8
Coefficiente di trazione indiretta CTI ¹⁹ a 25 °C ^(***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 50
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C ^(***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8

(**) La massa volumica ottenuta con 100 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G

(***) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria

4.4.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità della miscela di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

4.4.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali.. Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$. I precedenti valori devono essere rispettati sia dalle miscele prelevate alla stesa, sia dalle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

¹⁹ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

4.4.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

4.4.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il confezionamento del conglomerato deve essere eseguito in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Al fine di garantire il perfetto essiccamento e l'uniforme riscaldamento della miscela, nonché una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati, la produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità. Si possono impiegare anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

In ogni caso, l'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare la miscela rispondente a quella indicata nello studio presentato ai fini dell'accettazione: ogni impianto deve, poi, assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

Per evitare che sostanze argillose e ristagni di acqua possano compromettere la pulizia degli aggregati, la zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata; inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori deve essere eseguita con la massima cura.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

L'umidità degli aggregati naturali all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso, mentre quella dell'argilla espansa non deve superare il 7% in peso.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190° C e quella del legante tra 160° C e 180° C.

Gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati per consentire la verifica delle suddette temperature.

4.4.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

Prima di iniziare la stesa del manto di usura tipo dense graded con argilla espansa è necessario controllare che siano rispettate le pendenze trasversali del piano di posa (sempre > 2,5%), in caso contrario questo deve essere risagomato; inoltre, devono essere verificate le condizioni di regolarità longitudinale e la presenza di ormaie, per valutare la necessità di eseguire un intervento preliminare di regolarizzazione del piano di posa dello strato di usura. Questi sono necessari qualora l'IRI sia maggiore di 1,8 mm/m e di 2,0 mm/m, rispettivamente per intervento su tutta o su parte della carreggiata, e le ormaie abbiano profondità maggiore di 10 mm. Eventuali interventi preliminari di risanamento profondo o di rinforzo della pavimentazione esistente, necessari a garantire la vita utile richiesta, devono essere previsti in fase di progettazione. E' poi necessario provvedere ad una accurata pulizia della superficie stradale eliminando anche l'eventuale preesistente segnaletica orizzontale.

La preparazione della superficie di stesa va eseguita prima della realizzazione dello strato di usura allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione, con dosaggi opportuni, di emulsioni bituminose aventi caratteristiche specifiche. Questo tipo di lavorazione, denominata mano d'attacco, consiste nell'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media oppure rapida (in funzione delle condizioni di utilizzo) al di sopra di una superficie di conglomerato bituminoso prima della realizzazione di un nuovo strato, con lo scopo di evitare possibili scorrimenti relativi aumentando l'adesione all'interfaccia tra i due strati.

Il dosaggio del materiale da impiegare, nonché le sue caratteristiche, variano a seconda che l'applicazione riguardi la costruzione di una nuova sovrastruttura oppure un intervento di

manutenzione: nel caso di nuove costruzioni, si utilizzerà una emulsione bituminosa cationica (al 60 % oppure al 65 % di legante), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 4.51 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m². Se il nuovo strato deve essere realizzato sopra una pavimentazione esistente è consigliato l'utilizzo di una emulsione bituminosa modificata avente le caratteristiche riportate in Tabella 4.52 dosata in modo che il bitume residuo risulti pari a 0,35 kg/m².

Prima della stesa della mano d'attacco l'Impresa dovrà rimuovere tutte le impurità presenti e provvedere alla sigillatura di eventuali zone porose e/o fessurate mediante l'impiego di una malta bituminosa sigillante.

Nel caso in cui il conglomerato bituminoso debba essere steso su pavimentazione precedentemente fresata, è ammesso l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche e modificate maggiormente diluite (fino ad un massimo del 55 % di bitume residuo) a condizione che gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) e le prestazioni richieste rispettino gli stessi valori riportati nella Tabella 4.51 e Tabella 4.52 per ciascun tipo di emulsione.

Il legante a base di bitume impiegato per le mani di attacco dovrà essere qualificato in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.51 Requisiti delle emulsioni bituminose cationiche per mani d'attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808		
			Cationica 55%	Cationica 60%	Cationica 65%
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva Classe 2	positiva Classe 2	positiva Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 53 Classe 4	≥ 58 Classe 5	≥ 63 Classe 6
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 2 mm)	UNI EN 12846-1	s	15 - 45 Classe 3		
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s		10 - 45 Classe 6	10 - 45 Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4	70 - 130 Classe 4
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074					
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5	≤ 220 Classe 5
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6	≥ 35 Classe 6

Tabella 4.52 Requisiti delle emulsioni bituminose modificate per mani d'attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	≥ 1,4	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

4.4.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

I conglomerati bituminosi saranno posti in opera mediante macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento; in ogni caso, le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi. La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3-4 m/min con alimentazione continua del conglomerato. Lo spessore dello strato deve essere posato per la sua intera altezza (spessore minimo: 30 mm) con un'unica passata, limitando il più possibile le interruzioni della stesa ed evitando interventi manuali per la correzione delle anomalie.

La posa in opera della miscela deve avvenire entro 3 ore dalla miscelazione del materiale all'impianto di confezionamento.

Nella fase di stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente con l'impiego di due finitrici; qualora ciò non sia possibile, il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si dovrà procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

Si devono programmare e realizzare le sovrapposizioni dei giunti longitudinali tra i vari strati in maniera tale che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il conglomerato dovrà essere trasportato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni; inoltre, la temperatura della miscela all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

Qualora le condizioni meteorologiche generali possano pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro, si dovrà procedere alla sospensione della stesa: gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e deve essere condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato preferibilmente con rulli gommati, ma può essere utilizzato anche un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 15 t.

Al termine della compattazione la massa volumica della miscela in situ non dovrà essere inferiore al 98% della D_G della miscela di progetto.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

A compattazione ultimata, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni in modo tale che un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato vi aderisca uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del manto di usura verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

4.4.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi per manti di usura tipo dense graded con argilla espansa e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e in situ.

4.4.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari, costituiti da aggregati naturali di primo impiego e da argilla espansa, deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna. I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 4.53.

Tabella 4.53 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 4.48
Aggregato grosso naturale	Impianto	Tabella 4.44
Argilla espansa	Impianto	Tabella 4.45
Aggregato fine	Impianto	Tabella 4.46
Filler	Impianto	Tabella 4.47

4.4.5.2 CONTROLLO DELLE MISCELE PRELEVATE AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il tipo di prelievi da eseguire è riportato in Tabella 4.54. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 4.4.3.

Tabella 4.54 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela

4.4.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il tipo di prelievo da eseguire è riportato nella Tabella 4.55.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);

- la massa volumica.

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere non inferiore a quello previsto nel progetto.

La massa volumica della miscela in situ, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere inferiore al 98% della D_G della miscela di progetto.

Tabella 4.55 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Massa volumica in situ	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	$\geq 98\%$ della D_G della miscela di progetto

Caratteristiche superficiali

Sulle pavimentazioni finite dovranno essere eseguite prove per il controllo dei valori di aderenza e macrotessitura superficiale dello strato di usura con le frequenze riportate in **Tabella 4.56**. Le misure di aderenza (resistenza ad attrito radente) eseguite con lo Skid Tester secondo la norma UNI EN 13036-4, dovranno fornire valori di BPN (British Pendulum Number) ≥ 65 . La tessitura superficiale, misurata con l'altezza di sabbia (HS), determinata secondo la metodologia riportata nella UNI EN 13036-1, deve risultare $\geq 0,5$ mm.

Tabella 4.56 Controllo delle caratteristiche superficiali

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	BPN ≥ 65
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	HS $\geq 0,5$ mm
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	F60 $\geq 0,22$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	S _P ≥ 45 km/h

In alternativa, per la misura dell'aderenza e della macrotessitura, potranno essere eseguite prove ad alto rendimento utilizzando una delle apparecchiature che hanno partecipato all'esperimento di armonizzazione dell'AIPCR (1992). Per il calcolo del parametro HS (MTD) da prove eseguite con profilometro laser l'elaborazione dei dati deve essere eseguita secondo la procedura prevista nella UNI EN ISO 13473-1.

I valori di aderenza ottenuti con tali attrezzature saranno ricondotti a valori di BPN utilizzando la relazione per il calcolo dell'IFI (AIPCR 1992), preventivamente accettata dalla D.L., con i coefficienti relativi alla particolare attrezzatura impiegata²⁰; i valori dell'IFI (F60, S_P) calcolati

²⁰ Nel caso di misure di BFC eseguite con skiddometer BV11, i valori di BPN e IFI (F60; S_P) si possono calcolare con la relazioni qui riportate, definite con un errore standard della stima pari a 0,029.

$$BPN = e^{\frac{50}{SP}} \cdot \left[-2,1984 + 113,2513 \cdot BFC \cdot e^{\frac{0,17 \cdot V - 60}{SP}} - 2,1019 \cdot \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right) \right]$$

$$F60 = 0,03964 + 0,85618 \cdot BFC \cdot e^{\left(\frac{0,17 \cdot V - 60}{SP} \right)} - 0,01589 \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right)$$

dove:

BPN = resistenza di attrito radente (British Pendulum Number)

BFC = coefficiente di aderenza con ruota frenata (Braking Force Coefficient)

V = velocità di esecuzione della misura (km/h)

HS = altezza di sabbia (mm)

utilizzando le suddette attrezzature dovranno rispettare i valori limiti riportati in Tabella 4.56. Le misure di aderenza e di macrotessitura dovranno essere effettuate in un periodo compreso tra il 60° e il 180° giorno dall'apertura al traffico. Le tratte da misurare, aventi lunghezze pari almeno a 200 m, potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia; in ogni caso, l'aderenza dovrà essere controllata per tutta l'estensione dell'intervento.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e tessitura superficiale si farà riferimento ai valori medi, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 12 valori dell'indicatore, distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale"; i valori così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Le tratte omogenee saranno individuate con una procedura statistica.

Le misure di aderenza e di tessitura dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati potranno, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici.

Ai fini di un controllo delle capacità dello strato di usura di ridurre la generazione del rumore da rotolamento sul profilo longitudinale acquisito utilizzando un profilometro laser in un periodo di tempo compreso tra il 15° e il 45° giorno dall'apertura al traffico, lo spettro di tessitura determinato secondo la procedura prevista dalla ISO/CD 13473-4 deve preferibilmente rispettare i requisiti riportati in Tabella 4.57.

Tabella 4.57 Spettro di tessitura

Lunghezza d'onda λ (mm)	Livello di tessitura L_{tx} (dB)
63,0	$\leq 35,5$
50,0	$\leq 36,5$
40,0	$\leq 37,5$
31,5	$\leq 38,5$
25,0	$\leq 39,5$
20,0	$\leq 40,5$
16,0	$\leq 41,0$
12,5	$\leq 42,0$
10,0	$\leq 43,0$
8,00	$\leq 43,5$
6,30	$\leq 44,5$
5,00	$\geq 40,5$
4,00	$\geq 40,5$
3,15	$> 40,0$
2,50	$\geq 39,5$
2,00	$\geq 39,5$

Dalla miscela prelevata all'atto della stesa saranno confezionati tre campioni con Pressa Giratoria, ad un numero di rotazioni pari a 100. Sulla faccia superiore dei campioni così preparati e tagliati dello spessore pari a quello di progetto verranno controllate le capacità di fonoassorbimento mediante tubo di impedenza secondo la procedura definita nella UNI EN ISO 10534-2. I valori dei coefficienti di assorbimento acustico devono essere inferiori a quelli riportati in Tabella 4.58, per almeno 5 delle 7 frequenze indicate.

$$S_p = -11,5981 + 113,63246 \cdot HS \quad (\text{km/h})$$

(Articolo "L'aderenza su pavimentazioni della viabilità ordinaria misurata con dispositivo a ruota parzialmente frenata", M. Losa, R. Bacci, P. Leandri)

Tabella 4.58 Controllo delle capacità di fonoassorbimento

Frequenza (Hz)	400	500	630	800	1000	1250	1600
Coefficiente di assorbimento acustico	$\alpha \geq 0,15$	$\alpha \geq 0,25$	$\alpha \geq 0,35$	$\alpha \geq 0,30$	$\alpha \geq 0,15$	$\alpha \geq 0,15$	$\alpha \geq 0,20$

Regolarità

L'indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, dovrà essere:

- inferiore a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata;
- inferiore a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.

Le misure del profilo longitudinale interesseranno tutta l'estensione dell'intervento e dovranno essere eseguite in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando un profilometro laser, e dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm.

I valori dell'indice IRI verranno calcolati con un "passo" di 100 m a partire dal profilo longitudinale misurato. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si farà riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 100 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; i valori di IRI così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate. Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per valori della massa volumica inferiori a quelli previsti al 4.4.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di massa volumica inferiore al 98% della D_G fino ad un valore minimo del 94% della D_G ; valori della massa volumica inferiori al 94% della D_G comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Per valori di medi di BPN o F60, come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti verrà applicata una detrazione dell'5% dell'importo dello strato per ogni unità di BPN in meno o una detrazione dell'7% per ogni 0,01 unità di F60 in meno, fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata. Tali detrazioni saranno calcolate con riferimento alla larghezza complessiva dello strato di rotolamento, anche se le misure interessano una sola corsia.

Per valori di medi di HS o S_p , come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 50% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo di aderenza e macrotessitura saranno cumulate fino ad un valore massimo del 50%.

I valori della soglia di non accettabilità sono:

$$BPN = 55$$

$$HS = 0,4 \text{ mm}$$

$$F60 = 0,15$$

$$Sp = 34 \text{ km/h}$$

Qualora il valore medio di aderenza (BPN o F60) o di macrotessitura (HS o S_p), come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m (misure di HS con profilometro laser) sia inferiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili si dovrà procedere

gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato; in alternativa a quest'ultima operazione si potrà procedere a cura e spese dell'Impresa alla realizzazione di un nuovo strato al di sopra di quello esistente, previa stesa di una mano di attacco.

Non sono ammesse tolleranze sui valori dei coefficienti di assorbimento acustico riportati in Tabella 4.58.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità pari al valore di 3,5 mm/m.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore o uguale a tale valore, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza e alla stesa di un nuovo strato; il nuovo strato sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo e agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

4.5 MANTI DI USURA SPECIALI TIPO MICROTAPPETO

4.5.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I manti di usura tipo microtappeto fanno parte di quella tipologia di conglomerati bituminosi detti di *nuova generazione*, impiegati per la realizzazione di manti di usura speciali a bassa emissione sonora, sono delle miscele tipo open graded che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottimizzare le prestazioni acustiche senza pregiudicare la durabilità, la stabilità e la sicurezza della circolazione. Il contributo fornito alla sicurezza stradale da questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura di pavimentazioni esistenti.

Il microtappeto si utilizza per realizzare manti di usura dello spessore compreso tra 20 – 25 mm, caratterizzati da una elevata rugosità superficiale, parzialmente drenanti e fonoassorbenti.

4.5.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

4.5.2.1 AGGREGATI

La fase solida dei conglomerati per manti di usura tipo microtappeto è costituita da aggregati lapidei di primo impiego costituiti da elementi totalmente frantumati, sani, duri, di forma poliedrica, esenti da polveri e materiali estranei. I granuli non dovranno mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare. La miscela degli inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler, che può provenire dalla frazione fine o essere aggiunto.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Sarà costituito da pietrischi, pietrischetti e graniglie che potranno essere di provenienza e natura petrografia diversa (preferibilmente basaltica), aventi forma poliedrica a spigoli vivi che soddisfino i requisiti indicati nella Tabella 4.59. Per la miscela di aggregato grosso deve essere misurato il valore di levigabilità (PSV) per ogni provenienza o natura petrografica del materiale utilizzato: il valore di PSV misurato sulla pezzatura minima passante allo staccio di 10 mm e trattenuta allo staccio a barre a 7,2 mm, deve essere ≥ 50 .

Tabella 4.59 Requisiti dell'aggregato grosso

Parametro	Indicatori di qualità Normativa	Unità di misura	Valore	Categoria UNI EN 13043
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 20	LA ₂₀
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	C _{100/0}
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	8	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F ₄
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	0	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f ₁
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 20	FI ₂₀
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	≤ 15	SI ₁₅

Indicatori di qualità				Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore	
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-
PSV	UNI EN 1097-8	%	≥ 50	PSV_{50}

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Esso deve essere costituito esclusivamente da sabbie ricavate per frantumazione di rocce e da elementi litoidi di fiume e deve possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 4.60.

Il trattenuto allo staccio di 2 mm non deve superare il 10% qualora gli aggregati fini provengano da rocce aventi un valore di $PSV \leq 50$.

Tabella 4.60 Requisiti dell'aggregato fine

Indicatori di qualità			VALORE	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 80	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler**, frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm, proviene dalla frazione fine degli aggregati oppure può essere costituito da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso il filler per i manti di usura tipo micro tappeto deve soddisfare i requisiti indicati nella Tabella 4.61.

Tabella 4.61 Requisiti del filler

Indicatori di qualità			Valore	Categoria UNI EN 13043
Parametro	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R\&B} 8/16$

4.5.2.2 LEGANTE

I conglomerati bituminosi utilizzati per la formazione di manti di usura tipo microtappeto vengono confezionati con bitumi modificati cioè con bitumi semisolidi contenenti polimeri elastomerici e/o plastomerici che ne modificano la struttura chimica e le caratteristiche fisiche e meccaniche: le caratteristiche di tali bitumi sono riportate nella Tabella 4.62.

Per confezionare i manti di usura tipo microtappeto deve essere utilizzato il bitume modificato di tipo Hard. Il rapporto filler – bitume dovrà mantenersi tra 1,1 e 1,7.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.62 Requisiti dei bitumi con modifica HARD per manti di usura tipo microtappeto

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifica UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	45 - 80	Classe 4
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 70	Classe 4
Force Ductility Test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 7
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 60 Classe 7
	Incremento del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 8 Classe 2
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5 Classe 3
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -15	Classe 7
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 80	Classe 2
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Intervallo di elastoplasticità	UNI EN 14023	°C	≥ 85	Classe 2
Stabilità allo stoccaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5 Classe 2
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9 Classe 2

4.5.2.3 ADDITIVI

Per migliorare le prestazioni dei conglomerati bituminosi si aggiungono agli aggregati o al bitume dei prodotti naturali o artificiali che prendono il nome di additivi.

Le fibre minerali sono degli additivi che nelle miscele ricche di graniglia e povere di sabbia hanno una funzione stabilizzante del mastice (filler+bitume) evitandone la separazione dallo scheletro litico.

Esse possono essere costituite da microfibrette di cellulosa, di vetro, acriliche, ecc.: devono possedere i requisiti indicati in Tabella 4.63.

Tabella 4.63 Requisiti delle fibre minerali

Caratteristiche geometrico-mecaniche	Unità di misura	Valore
Lunghezza media bavella	micron	200/300
Diametro medio fibra	micron	8/15
Superficie specifica fibra	cm ² /g	2700
Resistenza alla trazione	GPa	da 1,5 a 2,5
Allungamento massimo	%	da 1,5 a 2,5
Resistenza alla temperatura	°C	≥ 550

4.5.3 MISCELA

4.5.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La miscela degli aggregati da adottarsi per i conglomerati bituminosi tipo microtappeto deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 4.64.

Per migliorare la stabilità del mastice bituminoso la miscela deve essere additivata, mediante idonee apparecchiature, con fibre minerali in quantità comprese tra lo 0,25% e lo 0,40% rispetto al peso degli aggregati.

Gli strati di usura tipo microtappeto devono avere uno spessore compreso tra 20 – 25 mm. La

percentuale di bitume, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa Tabella 4.64.

La quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31.

Tabella 4.64 Requisiti granulometrici della miscela per conglomerati bituminosi tipo microtappeto

Serie stacci UNI (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	8	100
Staccio	6,3	80 – 100
Staccio	4	53 – 67
Staccio	2	20 – 33
Staccio	0,5	8 – 16
Staccio	0,25	6 – 12
Staccio	0,125	5 – 11
Staccio	0,063	4 – 9
Percentuale di bitume		5,0% – 6,0%
Spessore (mm)		20 – 25

Le caratteristiche richieste per i conglomerati bituminosi tipo microtappeto sono riportate nella Tabella 4.65.

Tabella 4.65 Requisiti della miscela per conglomerati bituminosi tipo microtappeto studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	100
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	23 – 27
Vuoti a 50 rotazioni (*) (**) (***)	%	17 – 21
Vuoti a 130 rotazioni (*)	%	≥ 14
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 0,5
Coefficiente di trazione indiretta CTI ²¹ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 50
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 50 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G
 (***) Su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria

²¹ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

4.5.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità della miscela di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

4.5.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali.

Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$.

Tali valori devono essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate all'impianto e alla stesa come pure dall'esame delle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

4.5.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

4.5.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il conglomerato deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

In ciascun impianto, la produzione non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamiento degli inerti, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati. Possono essere impiegati anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti della miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190°C e quella del legante modificato tra 160°C e 180°C.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati. L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

4.5.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

Prima di iniziare la stesa del manto di usura microtappeto va verificata l'efficienza delle opere per il deflusso delle acque. Se non sono rispettate le pendenze trasversali del piano di posa (sempre $> 2,5\%$), questo deve essere risagomato; inoltre, devono essere verificate le condizioni di regolarità longitudinale e la presenza di ormaie, per valutare la necessità di eseguire un intervento preliminare di regolarizzazione del piano di posa dello strato di usura. Questi sono necessari qualora l'IRI sia maggiore di 1,8 mm/m e di 2,0 mm/m, rispettivamente per intervento su tutta o su parte della carreggiata, e le ormaie abbiano profondità maggiore di 10 mm. Eventuali interventi preliminari di risanamento profondo o di rinforzo della pavimentazione esistente, necessari a garantire la vita utile richiesta, devono essere previsti in fase di progettazione. E' poi necessario provvedere ad una accurata pulizia della superficie stradale eliminando anche l'eventuale preesistente segnaletica orizzontale. Successivamente, in base alle caratteristiche del piano di posa, si procederà nei modi di seguito descritti:

- qualora il tappeto di usura tipo microtappeto debba essere posizionato su di una vecchia pavimentazione fresata, in buone condizioni, senza fessurazioni, verrà stesa come impermeabilizzazione per la struttura sottostante, una membrana sottile realizzata con bitumi modificati tipo Hard spruzzati a caldo (temperatura $> 180^{\circ}\text{C}$) in ragione di $1,00 \pm 0,2 \text{ kg/m}^2$, mediante apposite macchine spanditrici automatiche in grado di assicurare l'uniforme distribuzione del prodotto ed il dosaggio previsto. Il bitume modificato steso a caldo avrà le caratteristiche riportate in [Tabella 4.62](#). Per evitare il danneggiamento della membrana che potrebbe essere causata dall'adesione dei mezzi di cantiere alla stessa, si dovrà provvedere allo spandimento, con apposito mezzo, di graniglia basaltica prebitumata avente pezzatura 4/8 mm, in quantità di circa 6-8 l/m².
- Nel caso in cui lo strato di usura tipo microtappeto debba essere realizzato su di una vecchia pavimentazione fresata ma fessurata, si metterà in opera una membrana rinforzata SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Essa permette di garantire un perfetto ancoraggio con la pavimentazione esistente, di impermeabilizzare la struttura esistente, di prevenire la risalita di eventuali fessure dagli strati sottostanti e distribuire uniformemente le tensioni dovute al passaggio dei veicoli. La posa in opera della SAMI sarà preceduta dalla pulizia della superficie stradale allo scopo di eliminare polveri ed eventuali detriti dal piano viabile. Per realizzare la SAMI si procederà allo spargimento di bitume modificato tipo Hard a caldo (temperatura $> 180^{\circ}\text{C}$) in ragione di $2,2 \pm 0,2 \text{ kg/m}^2$, mediante apposite macchine spanditrici automatiche in grado di assicurare l'uniforme distribuzione del prodotto ed il dosaggio previsto. Il bitume modificato avrà le caratteristiche riportate in [Tabella 4.62](#). Successivamente si provvederà alla stesa immediata della graniglia, avente pezzatura di 8-12 mm, data uniformemente a mezzo di apposito spandigraniglia in quantità di circa 20 l/m². Quest'ultima operazione sarà seguita dal passaggio di rullo gommato e successivamente della motospazzatrice per l'asporto della graniglia non bene ancorata alla membrana.
- Nel caso in cui lo strato di usura tipo microtappeto debba essere realizzato su di una pavimentazione in conglomerato bituminoso in buone condizioni, la mano d'attacco impermeabilizzante verrà eseguita con la spruzzatura di una emulsione di bitume modificato con le caratteristiche minime riportate in [Tabella 4.66](#), effettuata mediante apposite macchine spanditrici automatiche in ragione di $1,5 \pm 0,2 \text{ kg/m}^2$ e successiva granigliatura come descritto al primo punto.

Il legante a base di bitume impiegato per la preparazione della superficie di stesa dovrà essere qualificato in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura

dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.66 Caratteristiche minime di accettazione dell'emulsione di bitume modificato

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	$\geq 1,4$	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

4.5.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

La posa in opera dei manti di usura tipo microtappeto viene effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3-4 m/min con alimentazione continua del conglomerato. Lo spessore dello strato deve essere posato per la sua intera altezza (spessore compreso tra 20 – 25 mm) con un'unica passata, limitando il più possibile le interruzioni della stesa ed evitando interventi manuali per la correzione delle anomalie. Considerata la marcata rapidità di raffreddamento dei tappeti tipo open graded dipendente dalla elevata porosità degli spessori, va interdetta la stesa a temperatura ambientale inferiore a 8 °C.

Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi. Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

La sovrapposizione dei giunti longitudinali con quelli degli strati sottostanti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti. Nel caso di tappeti tipo microtappeto, per non ridurre la capacità drenante dello strato, è escluso il ricorso a mani d'attacco con legante bituminoso sul bordo freddo longitudinale della striscia realizzata in precedenza. Eccezionalmente si può riscaldare il bordo della striscia adiacente già stesa con il ristuccatore a raggi infrarossi montato sulla finitrice.

Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Il conglomerato eventualmente compromesso deve essere immediatamente rimosso e successivamente lo strato deve essere ricostruito a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

Il costipamento deve essere realizzato mediante rullo statico a ruote metalliche del peso massimo di 10t.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

La superficie degli strati deve presentarsi, dopo la compattazione, priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del manto di usura verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

4.5.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi per manti di usura tipo microtappeto e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in sito.

4.5.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 4.67.

Tabella 4.67 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 4.62
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 4.59
Aggregato fine	Impianto	Tabella 4.60
Filler	Impianto	Tabella 4.61

4.5.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il tipo di prelievi da eseguire è riportato in Tabella 4.68. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 4.5.3.

Tabella 4.68 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela

4.5.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l'Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il tipo di prelievo da eseguire è riportato nella Tabella 4.69.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere non inferiore a quello previsto nel progetto.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 4.69 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Caratteristiche superficiali

Sulle pavimentazioni finite dovranno essere eseguite prove per il controllo dei valori di aderenza e macrotessitura superficiale dello strato di usura con le frequenze riportate in Tabella 4.70. Le misure di aderenza (resistenza ad attrito radente) eseguite con lo Skid Tester secondo la norma UNI EN 13036-4, dovranno fornire valori di BPN (British Pendulum Number) ≥ 60 . La tessitura superficiale, misurata con l'altezza di sabbia (HS), determinata secondo la metodologia riportata nella UNI EN 13036-1, deve risultare $\geq 0,8$ mm.

Tabella 4.70 Controllo delle caratteristiche superficiali

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	BPN ≥ 65
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	HS $\geq 0,7$ mm
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	F60 $\geq 0,29$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	SP ≥ 68 km/h

In alternativa, per la misura dell'aderenza e della macrotessitura, potranno essere eseguite prove ad alto rendimento utilizzando una delle apparecchiature che hanno partecipato all'esperimento di armonizzazione dell'AIPCR (1992). Per il calcolo del parametro HS (MTD) da prove eseguite con profilometro laser l'elaborazione dei dati deve essere eseguita secondo la procedura prevista nella UNI EN ISO 13473-1.

I valori di aderenza ottenuti con tali attrezzature saranno ricondotti a valori di BPN utilizzando la relazione per il calcolo dell'IFI (AIPCR 1992), preventivamente accettata dalla D.L., con i coefficienti relativi alla particolare attrezzatura impiegata²²; i valori dell'IFI (F60, S_P) calcolati utilizzando le suddette attrezzature dovranno rispettare i valori limiti riportati in Tabella 4.70. Le misure di aderenza e di macrotessitura dovranno essere effettuate in un periodo compreso tra il 60° e il 180° giorno dall'apertura al traffico. Le tratte da misurare, aventi lunghezze pari almeno a 200 m, potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia; in ogni caso, l'aderenza dovrà essere controllata per tutta l'estensione dell'intervento.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e tessitura superficiale si farà riferimento ai valori medi, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 12 valori dell'indicatore, distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale"; i valori così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Le tratte omogenee saranno individuate con una procedura statistica.

Le misure di aderenza e di tessitura dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati potranno, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici.

Ai fini di un controllo delle capacità dello strato di usura di ridurre la generazione del rumore da rotolamento sul profilo longitudinale acquisito utilizzando un profilometro laser in un periodo di tempo compreso tra il 15° e il 45° giorno dall'apertura al traffico, lo spettro di tessitura determinato secondo la procedura prevista dalla ISO/CD 13473-4 deve preferibilmente rispettare i requisiti riportati in Tabella 4.71.

²² Nel caso di misure di BFC eseguite con skidometer BV11, i valori di BPN e IFI (F60; S_P) si possono calcolare con le relazioni qui riportate, definite con un errore standard della stima pari a 0.029.

$$BPN = e^{\frac{50}{S_P}} \cdot \left[-2,1984 + 113,2513 \cdot BFC \cdot e^{\frac{0,17 \cdot V - 60}{S_P}} - 2,1019 \cdot \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right) \right]$$

$$F60 = 0,03964 + 0,85618 \cdot BFC \cdot e^{\left(\frac{0,17 \cdot V - 60}{S_P} \right)} - 0,01589 \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right)$$

dove:

BPN = resistenza di attrito radente (British Pendulum Number)

BFC = coefficiente di aderenza con ruota frenata (Braking Force Coefficient)

V = velocità di esecuzione della misura (km/h)

HS = altezza di sabbia (mm)

S_P = -11,5981 + 113,63246 · HS (km/h)

Tabella 4.71 Spettro di tessitura

Lunghezza d'onda λ (mm)	Livello di tessitura L_{tx} (dB)
63,0	$\leq 42,0$
50,0	$\leq 43,0$
40,0	$\leq 44,0$
31,5	$\leq 45,0$
25,0	$\leq 46,0$
20,0	$\leq 47,0$
16,0	$\leq 48,0$
12,5	$\leq 49,0$
10,0	$\leq 50,0$
8,00	$\leq 50,5$
6,30	$\geq 46,5$
5,00	$\geq 46,5$
4,00	$> 45,5$
3,15	$\geq 45,0$
2,50	$\geq 44,0$
2,00	$\geq 44,0$

In situ dovrà essere misurata la capacità drenante con il permeametro portatile a colonna d'acqua secondo la norma francese AFNOR NF P 98-254-3 e con la frequenza riportata in [Tabella 4.28](#). La capacità drenante misurata deve essere $\geq 2 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Tabella 4.72 Controllo della capacità drenante

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Su tre postazioni	Capacità drenante $\geq 2 \text{ dm}^3/\text{min}$

Dalla miscela prelevata all'atto della stesa saranno confezionati tre campioni con Pressa Giratoria, ad un numero di rotazioni pari a 50. Sulla faccia superiore dei campioni così preparati e tagliati dello spessore pari a quello di progetto verranno controllate le capacità di fonoassorbimento mediante tubo di impedenza secondo la procedura definita nella UNI EN ISO 10534-2. I valori dei coefficienti di assorbimento acustico devono essere inferiori a quelli riportati in [Tabella 4.73](#), per almeno 5 delle 7 frequenze indicate.

Tabella 4.73 Controllo delle capacità di fonoassorbimento

Frequenza (Hz)	400	500	630	800	1000	1250	1600
Coefficiente di assorbimento acustico	$\alpha \geq 0,10$	$\alpha \geq 0,20$	$\alpha \geq 0,20$	$\alpha \geq 0,15$	$\alpha \geq 0,10$	$\alpha \geq 0,10$	$\alpha \geq 0,20$

Regolarità

L'indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, dovrà essere:

- inferiore a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata;
- inferiore a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.

Le misure del profilo longitudinale interesseranno tutta l'estensione dell'intervento e dovranno essere eseguite in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando un profilometro laser, e dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm. I valori dell'indice IRI verranno calcolati con un "passo" di 100 m a partire dal profilo longitudinale

misurato. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si farà riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 100 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; i valori di IRI così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate. Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per percentuali dei vuoti maggiori di quelli previsti al 4.4.4.3 verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell'importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Per valori di medi di BPN o F60, come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti verrà applicata una detrazione dell'5% dell'importo dello strato per ogni unità di BPN in meno o una detrazione dell'5% per ogni 0,01 unità di F60 in meno, fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata. Tali detrazioni saranno calcolate a riferimento la larghezza complessiva dello strato di rotolamento, anche se le misure interessano una sola corsia.

Per valori di medi di HS o S_p , come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 50% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo di aderenza e macrotessitura saranno cumulate fino ad un valore massimo del 50%.

I valori della soglia di non accettabilità sono:

$$\begin{array}{ll} \text{BPN} = 55 & \text{F60} = 0,19 \\ \text{HS} = 0,5 \text{ mm} & \text{Sp} = 45 \text{ km/h} \end{array}$$

Qualora il valore medio di aderenza (BPN o F60) o di macrotessitura (HS o S_p), come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m (misure di HS con profilometro laser) sia inferiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato.

Per valori della capacità drenante minori dei limiti previsti nella [Tabella 4.72](#) verrà applicata una riduzione del 10% del prezzo comprensivo della mano d'attacco.

Non sono ammesse tolleranze sui valori dei coefficienti di assorbimento acustico riportati in [Tabella 4.73](#).

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità pari al valore di 3,5 mm/m.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore o uguale a tale valore, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza e alla stessa di un nuovo strato; il nuovo strato sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo e agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.

4.6 MANTI DI USURA SPECIALI REALIZZATI CON CONGLOMERATI BITUMINOSI TIPO GAP GRADED CONFEZIONATI CON BITUMI MODIFICATI MEDIANTE L'AGGIUNTA DI POLIMERI SBR/NR SECONDO PROCESSO WET

4.6.1 GENERALITA' E DEFINIZIONI

I manti di usura tipo gap graded fanno parte di quella tipologia di conglomerati bituminosi detti di nuova generazione, impiegati per la realizzazione di manti di usura speciali, sono delle miscele che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottenere buone prestazioni in termini di durabilità, prestazioni meccaniche e sicurezza stradale.

Il contributo fornito alla sicurezza stradale da questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura di pavimentazioni esistenti.

I conglomerati gap graded additivati con polimeri SBR/NR sono tappeti di usura antisdrucchio, aventi spessori in opera di almeno 30 mm, costituiti da una miscela di pietrischetti, graniglie, frantumati, sabbie di sola frantumazione e additivo (filler), impastata a caldo in appositi impianti con bitume modificato con polimeri SBR/NR. Il legante impiegato per il confezionamento della miscela consiste in un bitume modificato con polimero di gomma riciclata di pneumatici fuori uso, incorporata nel bitume tramite processo wet. Questo conglomerato, chiuso e totalmente impermeabile agli strati sottostanti, è stato studiato per migliorare l'aderenza e impermeabilizzare la struttura sottostante.

4.6.2 QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

4.6.2.1 AGGREGATI

La fase solida dei conglomerati per manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR è costituita da aggregati lapidei di primo impiego costituiti da elementi totalmente frantumati, sani, duri, di forma poliedrica, esenti da polveri e materiali estranei. I granuli non dovranno mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare. La miscela degli inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi, degli aggregati fini e del filler, che può provenire dalla frazione fina o essere aggiunto.

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Aggregato grosso

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più grandi con D minore o uguale a 45 mm e con d maggiore o uguale a 2 mm, dove con D si indica la dimensione dello staccio superiore e con d quella dello staccio inferiore. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base abbinati agli stacci del gruppo 2 della UNI EN 13043.

Sarà costituito da pietrischi, pietrischetti e graniglie che potranno essere di provenienza e natura petrografia diversa (preferibilmente basaltica), aventi forma poliedrica a spigoli vivi che soddisfino i requisiti indicati nella Tabella 4.74. Per la miscela di aggregato grosso deve essere misurato il valore di levigabilità (PSV) per ogni provenienza o natura petrografica del materiale utilizzato: il valore di PSV misurato sulla pezzatura minima passante allo staccio di 10 mm e trattenuta allo staccio a barre a 7,2 mm, deve essere ≥ 50 .

Tabella 4.74 Requisiti dell'aggregato grosso

Parametro	Indicatori di qualità			Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura	Valore	
Los Angeles	UNI EN 1097-2	%	≤ 20	LA_{20}
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	%	100	$C_{100/0}$
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	8	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	%	≤ 4	F_4
Spogliamento	UNI EN 12697-11	%	0	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 1	f_1
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	≤ 20	FI_{20}
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	≤ 15	SI_{15}
Porosità	UNI EN 1936	%	$\leq 1,5$	-
PSV	UNI EN 1097-8	%	≥ 50	PSV_{50}

Aggregato fine

Designazione attribuita agli aggregati di dimensioni più piccole con D minore o uguale a 2 mm e contenente particelle che sono per la maggior parte trattenute su uno staccio di 0.063 mm.

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima $D = 4$ mm.

Esso deve essere costituito esclusivamente da sabbie ricavate per frantumazione di rocce e da elementi litoidi di fiume e deve possedere le caratteristiche riassunte nella [Tabella 4.75](#).

Il trattenuto allo staccio di 2 mm non deve superare il 10% qualora gli aggregati fini provengano da rocce aventi un valore di $PSV \leq 50$.

Tabella 4.75 Requisiti dell'aggregato fine

Parametro	Indicatori di qualità		VALORE	Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura		
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	%	≥ 80	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≤ 3	f_3

Il **filler**, frazione passante per la maggior parte allo staccio 0,063 mm, proviene dalla frazione fine degli aggregati oppure può essere costituito da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso il filler per i manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR deve soddisfare i requisiti indicati nella [Tabella 4.76](#).

Tabella 4.76 Requisiti del filler

Parametro	Indicatori di qualità		Valore	Categoria UNI EN 13043
	Normativa	Unità di misura		
Passante allo staccio 0,125 mm	UNI EN 933-1	%	100	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	≥ 80	-
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12		N.P.	-
Vuoti Rigden	UNI EN 1097-4	%	28 - 45	$V_{28/45}$
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	°C	8 - 16	$\Delta_{R&B/8/16}$

4.6.2.2 LEGANTE

Il legante impiegato per il confezionamento di miscele tipo gap graded additivate con polimeri SBR/NR consiste in un bitume modificato con polverino di gomma riciclata di pneumatici fuori uso, incorporato nel bitume tramite processo "wet". L'aggiunta a caldo del polverino di gomma, in ragione del 15÷22% riferito al peso totale del legante (bitume + polverino di gomma), modifica la struttura chimica e le caratteristiche fisico-mecccaniche del bitume base.

I leganti a base di bitume impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA delle norme europee armonizzate di riferimento: UNI EN 12591 per i bitumi puri per applicazioni stradali, UNI EN 14023 per i bitumi modificati, UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Bitume base

Il bitume base deve appartenere alla classe 50/70 definita dalla norma UNI EN 12591 e possedere un punto di rammolimento $\geq 50^{\circ}\text{C}$.

Additivo polimerico SBR/NR

L'additivo polimerico di tipo SBR/NR deve essere ottenuto dal riciclaggio di pneumatici di automobili o autocarri e deve possedere le seguenti caratteristiche:

- gomma di pneumatico, 100% vulcanizzata;
- assenza di fibra, tessuto, metallo o di qualsiasi altro materiale contaminante;
- dopo la tritazione deve presentarsi come una polvere, non incollata, di materiale granulare con un peso specifico di $1,15 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$;
- quantità di polvere minerale, carbonato di calcio o talco (utilizzato per impedire l'aderenza delle particelle), non superiore al 4% del peso della gomma;
- contenuto d'acqua non superiore al 2% in peso, per evitare la formazione di bollicine d'aria durante il processo di miscelazione.

La granulometria del polverino di gomma deve rispettare i requisiti indicati nella Tabella 4.77.

Tabella 4.77 Requisiti granulometrici additivo polimerico SBR/NR

Serie stacci ISO 3310 serie R20 (mm)		Passante totale in peso %
Staccio	1,25	Staccio
Staccio	0,800	Staccio
Staccio	0,630	Staccio
Staccio	0,400	Staccio
Staccio	0,250	Staccio
Staccio	0,063	Staccio

Bitume modificato

Le proprietà del bitume modificato utilizzato per il confezionamento di manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR sono riportate nella Tabella 4.78. La determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del legante modificato deve essere eseguita non prima di 45 minuti dalla sua produzione.

Tabella 4.78 Requisiti del bitume modificato per manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifica UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	25 - 55	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 50	Classe 8
Force Ductility Test a 5°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 2
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 45 Classe 4
	Incremento del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 12 Classe 4
	Variazione di massa	-	%	≤ 0,5 Classe 3
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -7	Classe 4
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 60	Classe 4
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Stabilità allo stoccaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5 Classe 2
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9 Classe 2

4.6.2.3 ADDITIVI

È escluso l'utilizzo di qualsiasi tipologia di fibre e/o additivi per il confezionamento di manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR.

4.6.3 MISCELA

4.6.3.1 COMPOSIZIONE DELLA MISCELA

La miscela degli aggregati da adottarsi per i conglomerati bituminosi tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella 4.79.

Gli strati di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR devono avere uno spessore di almeno 30 mm. La percentuale di bitume, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa Tabella 4.79.

La quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico su provini addensati con pressa giratoria secondo UNI EN 12697-31.

Tabella 4.79 Requisiti granulometrici della miscela per conglomerati tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR

Serie stacci UNI (mm)	Passante totale in peso %
Staccio 8	100
Staccio 6,3	90 – 100
Staccio 4	40 – 50
Staccio 2	19 – 29
Staccio 0,5	11 – 19
Staccio 0,25	8 – 16
Staccio 0,125	7 – 13
Staccio 0,063	7 – 11
Percentuale di bitume	8% – 9%
Spessore (mm)	≥ 30

Le caratteristiche richieste per i conglomerati bituminosi tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR sono riportate nella Tabella 4.80.

Tabella 4.80 Requisiti della miscela per conglomerati tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR studiata con metodo volumetrico

METODO VOLUMETRICO		
Condizioni di prova	Unità di misura	Valori
Velocità di rotazione	rotazioni/min	30
Pressione verticale	kPa	600
Diametro del provino	mm	100
<i>Risultati richiesti</i>		
Vuoti a 10 rotazioni (*)	%	10 – 14
Vuoti a 50 rotazioni (*)(**)	%	3 – 6
Vuoti a 130 rotazioni (*)	%	≥ 2
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 0,7
Coefficiente di trazione indiretta CTI ²³ a 25 °C (***) (UNI EN 12697-23)	N/mm ²	≥ 50
Sensibilità all'acqua ITSR a 25 °C (***) (UNI EN 12697-12)	%	≥ 80

(*) Percentuale dei vuoti determinata secondo la UNI EN 12697-8
 (**) La massa volumica ottenuta con 50 rotazioni della pressa giratoria viene indicata nel seguito con D_G
 (***) Su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria

4.6.3.2 ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Prima dell'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori lo studio di progetto della miscela che intende adottare, in originale e firmato dal responsabile dell'Impresa. Esso deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati e contenere i risultati delle prove di accettazione e d'idoneità della miscela di progetto e di tutti gli elementi che la compongono (aggregati, leganti, additivi). Durante i lavori l'Impresa dovrà attenersi

²³ Coefficiente di trazione indiretta: $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot D_C}$

dove:

ITS = resistenza a trazione indiretta espressa in N/mm²

D = diametro del campione espresso in mm

D_C = spostamento di compressione a rottura espresso in mm

rigorosamente alla formulazione di progetto accettata, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da essa adottato.

La D.L., in contraddittorio con l'impresa, in ogni momento e a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, potrà effettuare prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera. L'esito positivo dei suddetti controlli e verifiche non elimina le responsabilità dell'Impresa sull'ottenimento dei risultati finali del prodotto in opera che sono espressamente richiamati in questo articolo.

4.6.3.3 TOLLERANZE SUI RISULTATI

Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di ± 3 punti percentuali, del contenuto di aggregato fine di ± 2 punti percentuali, del passante allo staccio UNI 0,063 mm di $\pm 1,5$ punti percentuali.

Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di $\pm 0,25\%$.

Tali valori devono essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate all'impianto e alla stesa come pure dall'esame delle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

4.6.4 ESECUZIONE DEI LAVORI

4.6.4.1 CONFEZIONAMENTO DELLA MISCELA

Il conglomerato deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

In ciascun impianto, la produzione non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamiento degli inerti, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati. Possono essere impiegati anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti della miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo polimerico.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190°C e quella del legante modificato tra 170°C e 190°C.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

4.6.4.2 PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE DI STESA

Prima di iniziare la stesa del conglomerato bituminoso per manti di usura tipo gap graded additivati

con polimeri SBR/NR va verificata l'efficienza delle opere per il deflusso delle acque. Se non sono rispettate le pendenze trasversali del piano di posa (sempre $> 2,5\%$), questo deve essere risagomato; inoltre, devono essere verificate le condizioni di regolarità longitudinale e la presenza di ormaie, per valutare la necessità di eseguire un intervento preliminare di regolarizzazione del piano di posa dello strato di usura. Questi sono necessari qualora l'IRI sia maggiore di 1,8 mm/m e di 2,0 mm/m, rispettivamente per intervento su tutta o su parte della carreggiata, e le ormaie abbiano profondità maggiore di 10 mm. Eventuali interventi preliminari di risanamento profondo o di rinforzo della pavimentazione esistente, necessari a garantire la vita utile richiesta, devono essere previsti in fase di progettazione. E' poi necessario provvedere ad una accurata pulizia della superficie stradale eliminando anche l'eventuale preesistente segnaletica orizzontale.

Prima di iniziare la stesa dei manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR è necessario stendere una adeguata mano d'attacco, realizzata con bitumi modificati, che avrà lo scopo di garantire un perfetto ancoraggio con la pavimentazione esistente e prevenire la risalita di eventuali fessure dagli strati sottostanti.

La mano d'attacco sarà eseguita con bitumi modificati stesi in ragione di $0,5 \text{ Kg/m}^2$ mediante apposite macchine spanditrici automatiche in grado di assicurare l'uniforme distribuzione del prodotto ed il dosaggio previsto. Il bitume modificato steso a caldo (temperatura $> 180^\circ\text{C}$) avrà le caratteristiche riportate nella [Tabella 4.81](#). Per evitare il danneggiamento della membrana che potrebbe essere causata dall'adesione dei mezzi di cantiere alla stessa, si dovrà provvedere allo spandimento, con apposito mezzo, di graniglia prebitumata avente pezzatura 4-8 mm, in quantità di circa $6-8 \text{ l/m}^2$. In casi particolari o quando la Direzione Lavori lo ritenga opportuno, si potrà realizzare la mano d'attacco utilizzando una emulsione di bitume modificato con le caratteristiche minime previste dalla [Tabella 4.82](#) stesa mediante apposite macchine spanditrici automatiche in ragione di $0,7 \text{ Kg/m}^2$ e successiva granigliatura come sopra descritto. L'eccesso di graniglia non legata dovrà essere asportato mediante impiego di motospazzatrice.

Il legante a base di bitume impiegato per le mani di attacco dovrà essere qualificato in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13808 per le emulsioni di bitume.

Tabella 4.81 Requisiti dei bitumi con modifica HARD per mani di attacco

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifiche UNI EN 14023	
<i>Requisiti essenziali</i>				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	45 - 80	Classe 4
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≥ 65	Classe 5
Force Ductility Test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	≥ 3	Classe 7
Requisiti dopo RTFOT UNI EN 12607-1	Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	%	≥ 60
	Incremento del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 8
	Variazione di massa	-	%	$\leq 0,5$
Flash Point	UNI EN ISO 2592	°C	≥ 250	Classe 2
<i>Altre proprietà</i>				
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	°C	≤ -15	Classe 7
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 80	Classe 2
<i>Ulteriori richieste tecniche</i>				
Intervallo di elastoplasticità	UNI EN 14023	°C	≥ 80	Classe 3
Stabilità allo stocaggio UNI EN 13399	Variazione del punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	≤ 5
	Variazione della penetrazione	UNI EN 1426	dmm	≤ 9

Tabella 4.82 Caratteristiche minime di accettazione dell'emulsione di bitume modificato

Parametro	Normativa	Unità di misura	Specifica UNI EN 13808	
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	Classe 2
Contenuto di bitume + flussante	UNI EN 1431	%	≥ 67	Classe 8
Tempo di efflusso a 40°C (viscosimetro da 4 mm)	UNI EN 12846-1	s	10 - 45	Classe 6
Indice di rottura (metodo del filler minerale)	UNI EN 13075-1	-	70 - 130	Classe 4
Adesività	UNI EN 13614	%	≥ 90	Classe 3
Caratteristiche del bitume recuperato per evaporazione UNI EN 13074				
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	≤ 100	Classe 3
Punto di rammolimento	UNI EN 1427	°C	≥ 55	Classe 2
Pendulum test	UNI EN 13588	J/cm ²	$\geq 1,4$	Classe 6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	≥ 75	Classe 5

4.6.4.3 POSA IN OPERA DELLA MISCELA

La posa in opera dei manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR viene effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3-4 m/min con alimentazione continua del conglomerato. Lo spessore dello strato deve essere posato per la sua intera altezza (spessore minimo di 30 mm) con un'unica passata, limitando il più possibile le interruzioni della stesa ed evitando interventi manuali per la correzione delle anomalie.

Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi. Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

La sovrapposizione dei giunti longitudinali con quelli degli strati sottostanti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare in ogni momento non inferiore a 170° C.

La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Il conglomerato eventualmente compromesso deve essere immediatamente rimosso e successivamente lo strato deve essere ricostruito a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

Il costipamento deve essere realizzato mediante rullo statico a ruote metalliche del peso massimo di 15t.

Al termine della compattazione la percentuale dei vuoti della miscela non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

La superficie degli strati deve presentarsi, dopo la compattazione, priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

La miscela bituminosa del manto di usura verrà stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto.

4.6.5 CONTROLLI

Il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi per manti di usura tipo gap graded additivati con polimeri SBR/NR e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in sito.

4.6.5.1 CONTROLLO DELLE FORNITURE

Oltre ai controlli iniziali, necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non si verifichino variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati in contraddittorio con la D.L..

Il controllo della qualità dei misti granulari di primo impiego deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il controllo della qualità del bitume dovrà essere eseguito su campioni prelevati all'impianto direttamente dalla cisterna.

I requisiti da soddisfare sono riportati nella Tabella 4.83.

Tabella 4.83 Controllo delle forniture

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Bitume	Cisterna	Tabella 4.78
Additivo polimerico SBR/NR	Impianto	Tabella 4.77
Aggregato grosso	Impianto	Tabella 4.74
Aggregato fine	Impianto	Tabella 4.75
Filler	Impianto	Tabella 4.76

4.6.5.2 CONTROLLO DELLA MISCELA PRELEVATA AL MOMENTO DELLA STESA

Il prelievo del conglomerato bituminoso sfuso avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Il tipo di prelievi da eseguire è riportato in Tabella 4.84. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un laboratorio di fiducia dell'Amministrazione, i seguenti controlli:

- la percentuale di bitume (UNI EN 12697 -1/39);
- la granulometria degli aggregati (UNI EN 12697-2).

Inoltre, mediante la Pressa Giratoria saranno controllate le caratteristiche di idoneità della miscela. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e sensibilità all'acqua a 25 °C (UNI EN 12697-12).

I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nello studio di progetto della miscela di cui al 4.6.3.

Tabella 4.84 Controlli delle miscele prelevate al momento della stesa

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	REQUISITI RICHIESTI
Conglomerato sfuso	Vibrofinitrice	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela

4.6.5.3 CONTROLLI PRESTAZIONALI SULLO STRATO FINITO

Dopo la stesa, la Direzione Lavori preleverà, in contraddittorio con l’Impresa, delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato in opera e la verifica degli spessori. Il tipo di prelievo da eseguire è riportato nella Tabella 4.85.

Sulle carote verranno determinati:

- lo spessore dello strato (medio di quattro misure in ciascuna carota);
- la massa volumica;
- la percentuale dei vuoti residui.

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Lo spessore medio dello strato deve essere non inferiore a quello previsto nel progetto.

La percentuale dei vuoti della miscela in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere maggiore del 2% rispetto a quella di progetto.

Tabella 4.85 Controlli prestazionali sullo strato finito

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Carote vuoti in sito	Pavimentazione	Ogni 5000 m ² di fascia di stesa	≤ % dei vuoti della miscela di progetto + 2%

Caratteristiche superficiali

Sulle pavimentazioni finite dovranno essere eseguite prove per il controllo dei valori di aderenza e macrotessitura superficiale dello strato di usura con le frequenze riportate in Tabella 4.86. Le misure di aderenza (resistenza ad attrito radente) eseguite con lo Skid Tester secondo la norma UNI EN 13036-4, dovranno fornire valori di BPN (British Pendulum Number) ≥ 70 . La tessitura superficiale, misurata con l’altezza di sabbia (HS), determinata secondo la metodologia riportata nella UNI EN 13036-1, deve risultare $\geq 0,5$ mm.

Tabella 4.86 Controllo delle caratteristiche superficiali

TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	BPN ≥ 70
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	HS $\geq 0,5$ mm
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10 m di fascia stesa	F60 $\geq 0,23$
Pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 10m di fascia stesa	S _p ≥ 45 km/h

In alternativa, per la misura dell’aderenza e della macrotessitura, potranno essere eseguite prove ad alto rendimento utilizzando una delle apparecchiature che hanno partecipato all’esperimento di armonizzazione dell’AIPCR (1992). Per il calcolo del parametro HS (MTD) da prove eseguite con

profilometro laser l'elaborazione dei dati deve essere eseguita secondo la procedura prevista nella UNI EN ISO 13473-1.

I valori di aderenza ottenuti con tali attrezzature saranno ricondotti a valori di BPN utilizzando la relazione per il calcolo dell'IFI (AIPCR 1992), preventivamente accettata dalla D.L., con i coefficienti relativi alla particolare attrezzatura impiegata²⁴; i valori dell'IFI (F60, S_P) calcolati utilizzando le suddette attrezzature dovranno rispettare i valori limiti riportati in Tabella 4.86. Le misure di aderenza e di macrotessitura dovranno essere effettuate in un periodo compreso tra il 60° e il 180° giorno dall'apertura al traffico. Le tratte da misurare, aventi lunghezze pari almeno a 200 m, potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia; in ogni caso, l'aderenza dovrà essere controllata per tutta l'estensione dell'intervento.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e tessitura superficiale si farà riferimento ai valori medi, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 12 valori dell'indicatore, distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale"; i valori così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Le tratte omogenee saranno individuate con una procedura statistica.

Le misure di aderenza e di tessitura dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati potranno, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici.

Ai fini di un controllo delle capacità dello strato di usura di ridurre la generazione del rumore da rotolamento sul profilo longitudinale acquisito utilizzando un profilometro laser in un periodo di tempo compreso tra il 15° e il 45° giorno dall'apertura al traffico, lo spettro di tessitura determinato secondo la procedura prevista dalla ISO/CD 13473-4 deve preferibilmente rispettare i requisiti riportati in Tabella 4.87.

²⁴ Nel caso di misure di BFC eseguite con skiddometer BV11, i valori di BPN e IFI (F60; S_P) si possono calcolare con la relazioni qui riportate, definite con un errore standard della stima pari a 0.029.

$$BPN = e^{\frac{50}{S_P}} \cdot \left[-2,1984 + 113,2513 \cdot BFC \cdot e^{\frac{0,17 \cdot V - 60}{S_P}} - 2,1019 \cdot \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right) \right]$$

$$F60 = 0,03964 + 0,85618 \cdot BFC \cdot e^{\left(\frac{0,17 \cdot V - 60}{S_P} \right)} - 0,01589 \left(\frac{HS - 0,2}{0,8} \right)$$

dove:

BPN = resistenza di attrito radente (British Pendulum Number)

BFC = coefficiente di aderenza con ruota frenata (Braking Force Coefficient)

V = velocità di esecuzione della misura (km/h)

HS = altezza di sabbia (mm)

S_P = -11,5981 + 113,63246 · HS (km/h)

Tabella 4.87 Spettro di tessitura

Lunghezza d'onda λ (mm)	Livello di tessitura L_{tx} (dB)
63,0	$\leq 39,0$
50,0	$\leq 40,0$
40,0	$\leq 41,0$
31,5	$\leq 42,0$
25,0	$\leq 43,0$
20,0	$\leq 44,0$
16,0	$\leq 44,5$
12,5	$\leq 45,5$
10,0	$\leq 46,0$
8,00	$\geq 42,5$
6,30	$\geq 42,0$
5,00	$\geq 41,5$
4,00	$\geq 41,5$
3,15	$\geq 41,0$
2,50	$\geq 40,5$
2,00	$\geq 40,5$

Dalla miscela prelevata all'atto della stesa saranno confezionati tre campioni con Pressa Giratoria, ad un numero di rotazioni pari a 50. Sulla faccia superiore dei campioni così preparati e tagliati dello spessore pari a quello di progetto verranno controllate le capacità di fonoassorbimento mediante tubo di impedenza secondo la procedura definita nella UNI EN ISO 10534-2. I valori dei coefficienti di assorbimento acustico devono essere inferiori a quelli riportati in Tabella 4.88.

Tabella 4.88 Controllo delle capacità di fonoassorbimento

Frequenza (Hz)	400	500	630	800	1000	1250	1600
Coefficiente di assorbimento acustico	$\alpha \leq 0,10$						

Regolarità

L'indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, dovrà essere:

- inferiore a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata;
- inferiore a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.

Le misure del profilo longitudinale interesseranno tutta l'estensione dell'intervento e dovranno essere eseguite in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando un profilometro laser, e dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm.

I valori dell'indice IRI verranno calcolati con un "passo" di 100 m a partire dal profilo longitudinale misurato. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si farà riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 100 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata; i valori di IRI così ricavati dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate. Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.

Tolleranze sui risultati e penali

A discrezione della D.L. possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per percentuali dei vuoti maggiori di quelli previsti al 4.6.4.3 verrà applicata una detrazione per

tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce pari al 2,5% dell' importo dello strato per ogni 0,5% di vuoti in eccesso fino ad un massimo del 4%; valori dei vuoti in eccesso superiori al 4% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Per valori di medi di BPN o F60, come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti verrà applicata una detrazione dell'5% dell'importo dello strato per ogni unità di BPN in meno o una detrazione dell'7% per ogni 0,01 unità di F60 in meno, fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata. Tali detrazioni saranno calcolate con riferimento alla larghezza complessiva dello strato di rotolamento, anche se le misure interessano una sola corsia.

Per valori di medi di HS o S_p , come definiti in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m, inferiori ai valori prescritti lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 50% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo di aderenza e macrotessitura saranno cumulate fino ad un valore massimo del 50%.

I valori della soglia di non accettabilità sono:

$$\begin{array}{ll} \text{BPN} = 60 & \text{F60} = 0,16 \\ \text{HS} = 0,4 \text{ mm} & \text{Sp} = 34 \text{ km/h} \end{array}$$

Qualora il valore medio di aderenza (BPN o F60) o di macrotessitura (HS o S_p), come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea o per ciascuna tratta da 50 m (misure di HS con profilometro laser) sia inferiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato; in alternativa a quest'ultima operazione si potrà procedere a cura e spese dell'Impresa alla realizzazione di un nuovo strato al di sopra di quello esistente, previa stesa di una mano di attacco.

Non sono ammesse tolleranze sui valori dei coefficienti di assorbimento acustico riportati in Tabella 4.88.

Tolleranze di esecuzione dei piani di progetto

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni millimetro di materiale mancante, mentre carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la sua successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una sola corsia), fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità pari al valore di 3,5 mm/m.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore o uguale a tale valore, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza e alla stesa di un nuovo strato; il nuovo strato sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo e agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

Le detrazioni determinate per i diversi parametri di controllo saranno cumulate.