Guida per la produzione di bitumi con polverino di gomma da Pneumatico Fuori Uso

13

ecopneus
il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

SIGNUS

Traduzione del testo originale della guida Signus a cura di Ecopneus

Introduzione alla traduzione italiana della guida

L'utilizzo dei materiali derivati dai PFU per la realizzazione di pavimentazioni stradali "modificate" è uno dei campi di applicazione della gomma riciclata di maggior interesse e dal maggior potenziale di sviluppo su vasta scala. In Italia attualmente sono oltre 235 i km/corsia realizzati con questa tecnologia, ma l'approccio è ancora troppo spesso di carattere sperimentale o fuori da un progetto organico di medio-lungo periodo. Manca, infatti, una visione strategica di insieme che possa fare di questa valida applicazione un concreto strumento nelle mani dei progettisti per realizzare infrastrutture di qualità e dai concreti vantaggi, sia dal punto di vista prestazionale che economico. Una situazione che deriva in parte dalla mancanza di informazione e conoscenza sugli aspetti tecnici specifici della produzione delle miscele bituminose contenenti gomma da riciclo, e in parte da una generale "resistenza al cambiamento".
La presente guida realizzata da SIGNUS Ecovalor, il principale responsabile della gestione dei PFU in Spagna, cerca proprio di superare queste barriere, fornendo in modo chiaro ed esaustivo una serie di indicazioni per la realizzazione delle diverse tipologie di miscele contenenti gomma da riciclo. La realtà spagnola è stata presa come "benchmark" in quanto molto simile per scenario e tessuto infrastrutturale e industriale a quella italiana, con la possibilità di applicare le stesse analisi, condividendo gli stessi obiettivi e considerazioni finali. Anche in Italia, infatti, come in Spagna, le aziende di produzione dei bitumi "modificati" sono nella maggior parte dei casi aziende di nicchia ad alto contenuto tecnologico e molto specializzate. Nelle pubblicazioni sui lavori eseguiti si fa dunque esclusivo riferimento ai risultati e ai miglioramenti ottenuti e non ai processi di produzione e formulazione delle miscele, in quanto parte essenziale del know-how aziendale. Una situazione che fa si che le medie imprese con scarsa specializzazione in bitumi modificati spesso neanche si avventurino a produrre i propri leganti benché l'apparecchiatura necessaria sia relativamente semplice e le possibilità di risparmio siano palesi.

Proprio per questo motivo i destinatari di questa Guida sono direttamente le imprese edili o i produttori di bitumi modificati con una scarsa specializzazione o tecnicizzazione per quanto riguarda la produzione di bitumi con gomma. L'obiettivo è quello di fornire loro un documento facile da utilizzare che consenta agli stessi di disporre di una pre-formulazione di uno qualsiasi dei bitumi con gomma più utilizzati, in modo che possano produrli anche con poche prove di verifica a priori, con miscelazioni testate e abbassando quindi in parte anche i costi iniziali. Per questo motivo Ecopneus ha deciso di tradurre in italiano il lavoro svolto da SIGNUS, proprio per far si che l'aggiunta di gomma da riciclo dei PFU nel bitume per asfalti diventi una tecnologia a portata di tutti i progettisti, laboratori stradali e aziende di produzione, favorendone la diffusione e un suo conseguente consolidamento nel tempo.

Ecopneus

Ecopneus scpa è una società senza scopo di lucro costituita per il rintracciamento, la raccolta, il trattamento e il recupero finale dei Pneumatici Fuori Uso (PFU) in Italia.
Nasce nel 2009 per consentire ai produttori e importatori di pneumatici operanti in Italia di adempiere agli obblighi previsti dall'art. 228 del Decreto Legislativo 152/2006 che impone agli stessi di assicurare la corretta gestione dei PFU con una responsabilità proporzionale alle quote di mercato rappresentate.
Soci fondatori di Ecopneus sono i sei principali produttori e importatori di pneumatici operanti in Italia: Bridgestone, Continental, Goodyear Dunlop, Marangoni, Michelin e Pirelli.
Ai soci fondatori si sono aggiunte numerose aziende di produzione e importazione di pneumatici che hanno scelto di trasferire ad Ecopneus gli obblighi di gestione dei PFU sotto la loro responsabilità, così come definito dall'art. 4 del Decreto Ministeriale n.82 dell'11 aprile 2011.
Rappresentando circa il 70% del mercato del ricambio di pneumatici in Italia, Ecopneus è oggi il principale protagonista nell'ambito del sistema nazionale di rintracciamento, raccolta e recupero dei Pneumatici Fuori Uso (PFU), che nel suo complesso deve garantire il recupero del 100% dei PFU generati ogni anno.

ecopneus
il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

La mission della società abbraccia tutti gli aspetti gestionali del sistema; in particolare, Ecopneus deve:

- **identificare tutti i punti di generazione del rifiuto-pneumatico.** La mappatura completa di tutti i gommisti, delle stazioni di servizio, delle officine e, in generale, dei punti dove avviene il cambio dei pneumatici, consente di monitorare i luoghi in cui avviene la produzione del rifiuto.
- **ottimizzare la parte logistica del sistema.** Ecopneus garantisce che il prelievo dei PFU dai gommisti e il trasporto ai centri di stoccaggio e agli impianti di recupero-parte fondamentale nella filiera del PFU-funzioni in maniera integrata ed efficiente;
- **garantire l'alimentazione a tutti gli operatori.** Il flusso dei PFU da raccogliere deve essere costante e diffuso sul territorio, per poter sostenere un'economia locale che si rifletta positivamente su quella nazionale;
- **promuovere nuovi impieghi dei PFU.** Ecopneus promuove la ricerca e lo sviluppo delle applicazioni e dei mercati che possono utilizzare i materiali derivati dai PFU; si impegna anche a diffondere adeguata informazione per ampliarne le possibilità di uso, sia negli ambiti già conosciuti, sia in applicazioni innovative;
- **effettuare monitoraggio e rendicontazione.** Per evitare la dispersione dei PFU in canali illegali è importante seguirne costantemente il flusso, rendendo trasparente ogni passaggio e favorendo una rendicontazione corretta.

SIGNUS

SISTEMA INTEGRATO PER LA GESTIONE DEI PNEUMATICI USATI

Guida per la produzione di bitumi con polverino di gomma da Pneumatico Fuori Uso

Autori

José Mª Bermejo Muñoz
Direttore Sviluppo Mercati di Valorizzazione di SIGNUS Ecovalor

Juan Gallego Medina
Professore ordinario presso Universidad Politécnica de Madrid

Leticia Saiz Rodríguez
Tecnico Sviluppo Mercati di Valorizzazione di SIGNUS Ecovalor

ESCLUSIONE DI RESPONSABILITÀ

I contenuti forniti in questa Guida sono il risultato dell'analisi di diverse esperienze maturate dagli autori prima di questo studio e la sintesi dei risultati sperimentali effettuati con diversi bitumi e polverino di gomma da PFU in laboratorio.

La Guida è stata elaborata dagli autori con il massimo criterio e rigore tecnico possibile. Tuttavia, in ultima istanza, sarà unicamente il buon senso del lettore a garantire un risultato soddisfacente, pertanto gli autori e SIGNUS Ecovalor declinano ogni responsabilità derivante dalla sua applicazione pratica.

ISBN 13 978-84-616-9263-7
©Copyright SIGNUS ECOVALOR
Depósito legale: C 377-2014

INFORMAZIONI GENERALI

SIGNUS Ecovalor è un'entità senza scopo di lucro creata affinché tutti quei fabbricanti e importatori (produttori) che lo desiderano, possano adempiere ai propri obblighi di legge in materia di gestione dei Pneumatici Fuori Uso.

La mission di SIGNUS consiste nel garantire il corretto trattamento del Pneumatico Fuori Uso dal momento in cui viene generato fino a quando cessa di rappresentare un rifiuto per trasformarsi in valevoli materiali. Altro obiettivo è quello di massimizzare questo valore attraverso lo sviluppo di nuove applicazioni e di nuovi mercati, tra cui uno dei più importanti è rappresentato proprio dalle miscele bituminose per asfalti.

SIGNUS
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS

Indice

0. RINGRAZIAMENTI *13*

1. PRESENTAZIONE DELLA GUIDA *15*

2. RIFERIMENTI NORMATIVI DEI BITUMI CON GOMMA *19*
- 2.1 Bitumi migliorati con gomma *21*
- 2.2 Bitumi modificati con gomma e polimeri *22*
- 2.3 Bitumi modificati ad alta viscosità con gomma *23*
- 2.4 Condizioni di stoccaggio dei bitumi con gomma *25*

3. INTERAZIONE BITUME-GOMMA: PROCESSO DI DIGESTIONE *27*
- 3.1 Il processo di digestione della gomma nei bitumi *27*

4. CLASSIFICAZIONE DEL POLVERINO DI GOMMA *31*
- 4.1 Caratteristiche e metodi di prova *31*

5. PROGETTAZIONE DI BITUMI CON GOMMA *35*
- 5.1 Selezione del bitume di base *35*
- 5.2 Selezione del polverino di gomma *35*
- 5.3 Selezione del polimero *36*
- 5.4 Selezione del miscelatore di laboratorio *36*
- 5.5 Temperatura di miscelazione e tempo di digestione *37*
- 5.6 Prelievo di campioni e prove di controllo *38*
- 5.7 Formulazione del bitume in laboratorio *38*
- 5.8 Verifica delle caratteristiche del legante su scala industriale *39*

6. PRODUZIONE DI BITUMI CON GOMMA SU SCALA INDUSTRIALE *41*
- 6.1 Sistemi per la produzione di bitumi con gomma su scala industriale *41*
  - *6.1.1 Configurazioni di unità di produzione più comuni* *41*
  - *6.1.2 Tipi di miscelatori* *43*
- 6.2 Componenti della formulazione del legante *44*
  - *6.2.1 Polverino di gomma: ricezione, stoccaggio e controllo* *44*
  - *6.2.2 Polimero: ricezione, stoccaggio e controllo* *44*
- 6.3 Produzione del bitume con gomma *45*
- 6.4 Controllo della produzione *45*
- 6.5 Stoccaggio dei bitumi con gomma *46*

7. FORMULAZIONI TIPO DI BITUMI CON GOMMA *49*
- 7.1 Caratteristiche e selezione dei materiali *49*
  - *7.1.1 Bitumi di base* *50*
  - *7.1.2 Caratteristiche o selezione del polverino di gomma* *50*
  - *7.1.3 Caratteristiche o selezione dei polimeri* *52*
- 7.2 Protocollo di fabbricazione *52*
- 7.3 Formulazioni raccomandate di bitumi con gomma *53*
  - *7.3.1 Bitumi migliorati con gomma* *53*
  - *7.3.2 Bitumi modificati con gomma* *54*
  - *7.3.3 Bitumi modificati ad alta viscosità con gomma* *55*

ALLEGATO 1. Apparecchiature per la produzione in laboratorio *59*

ALLEGATO 2. Apparecchiature per la produzione su scala industriale *65*

Ringraziamenti

La presente Guida è il frutto di un lavoro sperimentale svolto presso il Laboratorio de Caminos dell'Universidad Politécnica de Madrid che nasce da un accordo di collaborazione sottoscritto da SIGNUS e dalla Fondazione Agustin de Betancourt per studiare le formulazioni di bitumi modificati con polverino di gomma da PFU.

SIGNUS, in qualità di promotore del documento, desidera ringraziare il professor Juan Gallego per l'impegno e la dedizione al lavoro superiore ai puri accordi contrattuali, nonché per aver condotto un lavoro egregio, estremamente innovativo e di elevato livello tecnologico. L'approccio prevalentemente industriale, rende questo documento estremamente prezioso nel dare impulso allo sviluppo -nel nostro paese- delle miscele bituminose con gomma.

Il lavoro appassionato del Prof. Juan Gallego, ha permesso la raccolta di grandi quantità di informazioni, ricche nei contenuti e che hanno richiesto un intenso sforzo di sintesi per produrre uno strumento di lavoro di facile e diretta applicazione. Il volume si rivolge alle pubbliche amministrazioni, alle imprese edili, ai produttori di conglomerati bituminosi, agli studi di ingegneria ecc. ed ha lo scopo di diffondere una maggiore conoscenza dei conglomerati bituminosi additivati con polverino di gomma da PFU.

SIGNUS ringrazia infine il professor Juan Gallego per la costante ed inestimabile partecipazione a convegni ed eventi dedicati alla divulgazione dell'utilizzo di polverino di gomma nei conglomerati bituminosi.

Presentazione della Guida

Il "Capitolato delle norme tecniche generali per lavori stradali e ponti (PG-3)" del *Ministerio de Fomento (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti spagnolo)* prevede la possibilità di utilizzare bitumi o conglomerati bituminosi modificati con polimeri, purché rispettino determinate specifiche tecniche.

La modifica dei bitumi può essere effettuata sia con polimeri "vergini" che con polverino di gomma ottenuto da Pneumatici Fuori Uso[1] (Circolare 21/2007 del Ministerio de Fomento), ottenendo quindi leganti e conglomerati bituminosi che, seppur diversi tra loro, presentano caratteristiche superiori a quelle ottenute con bitumi tradizionali.

Oltre a considerare i miglioramenti apportati dal polverino di gomma al bitume, vale certamente la pena sottolineare che -ai prezzi attuali dei bitumi- un uso esteso di questo materiale permetterebbe di migliorare la reologia dei leganti bituminosi in modo più economico rispetto all'uso di polimeri "vergini" o di altri additivi.

A questo differenziale di costo iniziale, è inoltre necessario aggiungere una serie di vantaggi economici derivanti dalla riduzione dei costi di manutenzione delle strade e l'estensione della loro vita utile.

SIGNUS, una società costituita con l'obiettivo primario di garantire la corretta gestione dei Pneumatici Fuori Uso (PFU) raccolti in Spagna, oltre che ai propri obblighi di gestione, risponde anche all'adempimento di una serie di ulteriori obblighi fissati dall'Amministrazione generale dello Stato e dalle Comunità autonome. Tra questi ulteriori adempimenti, il Piano nazionale integrato dei rifiuti (PNIR 2008-2015) stabilisce che il 55% della gomma recuperata da PFU sia utilizzata per la modifica di conglomerati bituminosi.

> ***"Investire sulle miscele con polverino da PFU significa risparmiare nel presente e nel futuro".***

(1) In questo volume viene utilizzata indistintamente la dicitura "polverino da PFU" o gomma per indicare il polverino di gomma ricavato dal riciclo dei Pneumatici Fuori Uso.

Ad oggi, non esiste un registro ufficiale contenente dati esatti sul consumo di polverino da PFU in Spagna, né dei tratti stradali realizzati con conglomerati bituminosi contenenti polverino di gomma da PFU. Tuttavia, si stimano oltre 1.100 km di strada realizzati con questi materiali e i buoni risultati ottenuti negli ultimi anni consolidano la fiducia in questa tecnologia.

Benché alcune aziende abbiano già investito sullo sviluppo di queste applicazioni, le conoscenze pratiche in merito sono ancora poco diffuse e vi è un certo timore ad approcciare la formulazione di miscele "gommate" in quanto si ritiene che siano necessarie competenze tecniche specifiche.

Nell'attuale situazione di mercato sono ancora in numero limitato le imprese che producono i bitumi "gommati" e che vendono questo tipo di leganti. Solitamente, si tratta di imprese molto specializzate e tecnologicamente avanzate che elaborano le proprie ricette e metodiche di lavoro. Solitamente, i documenti utilizzati per promuovere i propri prodotti descrivono le proprietà del legante e le migliorie ottenute dal suo impiego, senza fare riferimento alle formulazioni utilizzate in quanto parte del know-how aziendale.

Di conseguenza, le medie imprese di settore, aventi conoscenze superficiali in tema di bitumi, sono restie a produrre i propri leganti nonostante l'apparecchiatura necessaria sia relativamente semplice e le possibilità di risparmio siano palesi.

I principali destinatari della presente Guida sono quindi le imprese di costruzioni, i produttori di conglomerati e/o di bitumi modificati che non hanno conoscenze specifiche sulla produzione ed uso di "bitumi gommati". L'obiettivo è quello di fornire un documento facile da utilizzare che consenta di disporre delle formulazioni dei bitumi gommati più comunemente usati in Spagna, che possono essere quindi prodotti con un numero ridotto di prove preliminari.

Per raggiungere tale scopo, nel corso del progetto sono state preparate e sottoposte a differenti prove di laboratorio numerose miscele al fine di stabilire, tra le ricette proposte per la produzione di bitumi gommati, quelle che soddisfano i requisiti tecnici di cui alla Circolare 21/2007 del Ministerio de Fomento e l'articolo 212 del PG-3 per bitumi modificati con gomma da Pneumatico Fuori Uso.

Oltre a queste formulazioni, il presente documento contiene informazioni sul processo di produzione (temperatura, tempi, energia di agitazione ecc.) ed alcune raccomandazioni per lo stoccaggio, affinché l'utente della Guida sia posto nelle condizioni di produrre autonomamente i leganti proposti.

"Attualmente si stimano oltre 1.100 km di strada realizzati con questi materiali in Spagna e i buoni risultati ottenuti negli ultimi anni consolidano la fiducia in questa tecnologia."

Riferimenti normativi dei bitumi con gomma

2

In Spagna sono stati compiuti importanti passi avanti nella predisposizione di specifiche tecniche per i leganti bituminosi realizzati con gomma da PFU. Il primo riferimento tecnico di rilievo, antecedente all'adozione di norme specifiche nazionali, è certamente il "Manuale di impiego della gomma di PFU nelle miscele bituminose (2007)", redatto dal CEDEX su incarico del *Ministerio de Medio Ambiente* (Ministero dell'Ambiente) e del *Ministerio de Fomento*. Questo documento introdusse, per la prima volta, i tre tipi di "leganti gommati" considerati di interesse nel panorama spagnolo delle miscele bituminose.

Con grado di modifica crescente, vennero definiti i bitumi migliorati, modificati e modificati ad alta viscosità realizzati con polverino di gomma proveniente da PFU.

A distanza di alcuni mesi dalla pubblicazione del Manuale, venne pubblicata la Circolare 21/2007 del Ministerio de Fomento "sull'uso e le specifiche che devono soddisfare i leganti e le miscele bituminose contenenti gomma da PFU", che divenne quindi il riferimento nazionale per la produzione e l'impiego di bitumi gommati.

Nelle premesse della Circolare, il polverino di gomma viene definito come il prodotto della granulazione di Pneumatici Fuori Uso avente dimensioni inferiori a 1 mm e il cui contenuto di particelle fini inferiori a 0,063 mm non supera il 15% in peso. Inoltre, deve essere composto principalmente da gomma naturale e sintetica, con percentuali massime di contaminanti ferrosi (< 0,01%), tessili (< 0,5%) o di altro tipo (0,25%).

Sono inoltre indicati due processi di produzione. Il primo, denominato "produzione in centrale", identifica la produzione del bitume modificato presso impianti tradizionali di modifica di bitumi, dotati di un mulino ad elevato potere di taglio (*high shear)*, che conferiscono al legante gommato la stabilità sufficiente per essere trasportato presso un impianto di produzione dei conglomerati.

Il secondo processo viene denominato "prodotto *in situ*" e viene descritto come un processo realizzato attraverso un'unità mobile specifica per la produzione di bitumi gommati. Tale unità viene collegata direttamente all'impianto di produzione del conglomerato dove viene prodotto il legante bituminoso gommato. Questo tipo di unità mobili non dispongono necessariamente di mulini ad alto taglio ma unicamente di miscelatori ad elevate velocità.

Analogamente al Manuale, anche la Circolare 21/2007 distingue tre categorie di bitumi gommati che si differenziano in funzione del grado di modifica:

- Bitumi migliorati
- Bitumi modificati
- Bitumi ad alta viscosità

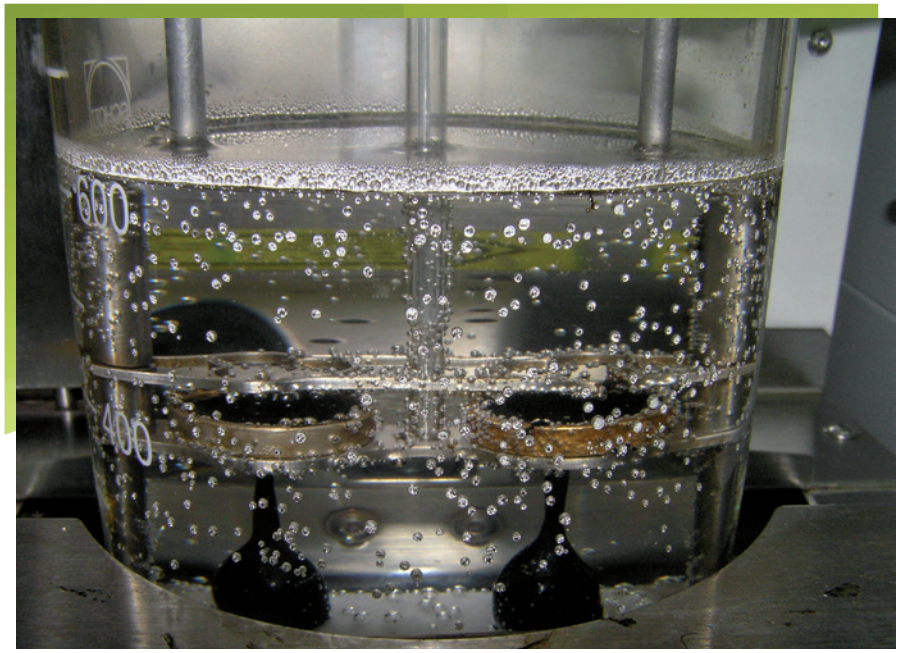
Le specifiche richieste a ciascuno dei tre tipi di leganti con gomma coincidono o sono comunque correlate ai requisiti dei bitumi modificati con polimeri tradizionali, attualmente definite dalla norma EN 14023:2010.

Tuttavia, è doveroso chiarire che la peculiare natura dei bitumi gommati rende alcune prove standard per bitumi modificati molto difficili da realizzare a livello pratico; infatti, la presenza di particelle di gomma non completamente dissolte nel bitume, può generare comportamenti anomali durante l'esecuzione delle prove di laboratorio. In particolare, in base alla prova di coesione denominata "force-ductility" (UNI-EN 13589 e UNI-EN 13703), i provini di bitume devono raggiungere un allungamento di almeno 40 cm. Tuttavia, l'eterogeneità delle particelle di gomma nel bitume impedisce il raggiungimento di tali allungamenti prima della rottura, anche a 25°C di temperatura.

A tale riguardo, vale la pena sottolineare che la stessa norma UNI-EN14023 sui bitumi modificati indica la possibilità di misurare la coesione attraverso altre prove, come quella dell'impatto con il pendolo Vialit (UNI-EN 13588) che sembra essere più idonea per bitumi modificati con gomma.

Qualcosa di simile avviene con la prova di ritorno elastico (UNI-EN 13398), che richiede un allungamento minimo di 20 cm, non facile da raggiungere. Tuttavia, la norma consente di ottenere la percentuale di ritorno elastico considerando come allungamento di riferimento quello raggiunto al momento della rottura e non i 20 cm stabiliti dalla procedura standard.

In ogni caso, non vi sono dubbi sul miglioramento delle proprietà dei bitumi con l'aggiunta di gomma, sia in termini di coesione sia di recupero elastico; si tratta soltanto di un'inidoneità dei metodi di prova presi come riferimento al momento della redazione delle specifiche di questi leganti con gomma.



2.1 Bitumi migliorati con gomma

La Circolare 21/2007 ha introdotto, per la prima volta, una caratterizzazione tecnica dei bitumi migliorati con gomma che precedentemente non trovavano riferimenti in altri capitolati. Per indicare il bitume migliorato con gomma si utilizza la sigla "BC" (*betune caucho*-bitume gomma) seguita dal valore di penetrazione del legante. La seguente tabella ne illustra le specifiche tecniche:

Caratteristiche		Norma di riferimento	Unità	BC35/50	BC50/70
Bitume migliorato					
Penetrazione, 25°C		UNI EN 1426	0,1 mm	35-50	50-70
Punto di rammollimento palla-anello		UNI EN 1427	°C	≥ 58	≥ 53
Punto di rottura Fraass		UNI EN 12593	°C	≤ -5	≤ -8
Force-ductility (5cm/min)	5°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm²	≥ 0,5	
Recupero elastico a 25°C		UNI EN 13398	%	≥ 10	
Stabilità allo stoccaggio (*)	Differenza palla e anello	UNI EN 13399	°C	≤ 10	
	Differenza di penetrazione		0,1 mm	≤ 8	≤ 10
Solubilità		UNI EN 12592	%	≥ 92	
Punto di infiammabilità v/a		UNI EN ISO 2592	°C	≥ 235	
Residuo prova pellicola sottile e in movimento: UNI EN 12607-1					
Variazione di massa		UNI EN 12607-1	%	≤ 1,0	
Penetrazione mantenuta		UNI EN 1426	% p.o	≥ 65	≥ 60
Variazione del Punto di rammollimento		UNI EN 1427	°C	min -4 máx +8	min -5 máx +10

(*) Solo per leganti che non vengono prodotti "in situ"

Tabella 1. Specifiche relative ai bitumi migliorati con gomma (BC)

2.2 Bitumi modificati con gomma e polimeri

In conformità alla Circolare 21/2007, si tratta di leganti modificati con gomma (non viene indicato il contenuto di gomma richiesto, né se la modifica viene effettuata con l'aggiunta di eventuali altri additivi). Questi leganti devono soddisfare le specifiche dei bitumi modificati (articolo 212 del PG-3). Vengono indicati aggiungendo una "C" *(caucho)* alla fine della denominazione del relativo bitume modificato. Le specifiche dei bitumi modificati sono sintetizzate nella tabella seguente:

Denominazione UNI EN 14023				PMB 10/ 40-70 C	PMB 25/ 55-65 C	PMB 45/ 80-60 C	PMB 45/ 80-65 C	PMB 45/ 80-75 C	PMB 75/ 130-60
Denominazione precedente (*)				BMC-1	BMC-2	BMC-3b	BMC-3c		BMC-4
Caratteristiche		UNI EN	Unitá	Prove su bitume originale					
Penetrazione a 25°		1426	0,1 mm	10-40	25-55	45-80	45-80	45-80	75-130
Punto di rammollimento		1427	°C	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 65	≥ 75	≥ 60
Coesione. Force-ductility		13589 13703	J/cm²	≥ 2 a 15°C	≥ 2 a 10°C	≥ 2 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 1 a 5°C
Punto di rottura Fraass		12593	°C	≤ -5	≤ -7	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -15
Recupero elastico a 25°C		13398	%	TBR	≥ 50	≥ 50	≥ 70	≥ 80	≥ 60
Stabilità allo stoccaggio (**)	Differenza del punto di rammollimento	13399 1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
	Differenza di penetrazione	13399 1426	0,1 mm	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 13	≤ 13
Punto di infiammabilità		ISO 2592	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 220
Durabilità - Resistenza all'invecchiamento EN 12607-1									
Variazione di massa		12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Penetrazione mantenuta		1426	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Incremento del Punto di rammollimento		1427	°C	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Diminuzione del Punto di rammollimento		1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

(*) Questa denominazione è inclusa solo a titolo informativo solo per facilitare l'adeguamento alle nuove classificazioni europee.

(**) Solo per leganti che non vengono prodotti "in situ"

TBR: Verrà comunicato il valore

Tabella 2. Requisiti dei bitumi modificati con gomma

2.3 Bitumi modificati ad alta viscosità con gomma

Nelle specifiche di questi leganti acquista importanza la viscosità caratteristica del legante. Vengono denominati con le sigle BMAVC e le relative specifiche sono illustrate a seguire:

Caratteristiche		Norma di riferimento	Unitá	BMAVC-1	BMAVC-2	BMAVC-3
Bitume originale						
Penetrazione, 25°C		UNI EN 1426	0,1 mm	15-30	35-50	55-70
Punto di rammollimento		UNI EN 1427	°C	≥ 75	≥ 70	≥ 70
Punto di rottura Fraass		UNI EN 12593	°C	≤ -4	≤ -8	≤ -15
Force-Ductility (5cm/min)	5°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm²	-	≥ 2	≥ 3
	10°C			≥ 2	-	-
Consistenza (60°C)		NLT 183	s	≥ 3000		
Viscosità dinamica	135°C	UNI EN 13302	mPa·s		≤ 7500	≤ 5000
	170°C			≥ 2000	≥ 1200	≥ 800
Recupero elastico	25°C	UNI EN 13398	%	≥ 10	≥ 20	≥ 30
Stabilità allo stoccaggio (*)	Differenza di anello e palla	UNI EN 13399	°C	≤ 5		
	Differenza di penetrazione		0,1 mm	≤ 20		
Punto di infiammabilità v/a		UNI EN ISO 2592	°C	≥ 235		
Residuo prova pellicola sottile e in movimento UNI EN 12607-1						
Variazione di massa		UNI EN 12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Penetrazione mantenuta		UNI EN 1426	% p.o	≥ 60		
Variazione del Punto di rammollimento		UNI EN 1427	°C	min -4 max +10		min-5 max +12

(*) Solo per leganti che non vengono prodotti "in situ"

Tabella 3. Specifiche relative a bitumi modificati ad alta viscosità con gomma (BMAVC)

2.4 Condizioni di stoccaggio dei bitumi con gomma

La Circolare 21/bis 2009 del *Ministerio de Fomento* oltre a definire le specifiche tecniche dei leganti gommati e ad individuarne l'impiego più corretto, fornisce anche indicazioni utili al corretto stoccaggio e trasporto dei bitumi gommati. Stabilisce che tutti tipi di leganti gommati, indipendentemente dalla categoria e dal processo di fabbricazione, debbano essere stoccati in un serbatoio per almeno 8 ore e per un massimo di 72 ore prima di essere utilizzati nella produzione di miscele bituminose. Il serbatoio, in conformità alla citata Circolare 21bis/2009, deve essere preferibilmente verticale e dotato di sistema di riscaldamento, agitazione e ricircolo, oltre a disporre di punti di prelievo-campioni a diverse altezze.

Di fatto, va sottolineato che i tempi di stoccaggio superiori alle 72 ore possono influire negativamente sulle proprietà del prodotto. Sulla base dell'esperienza industriale spagnola degli ultimi anni, tempi d'interazione (produzione + stoccaggio) pari ad 1 ora sono sufficienti a garantire il corretto grado di digestione della gomma ed il soddisfacimento delle specifiche richieste al legante, anche nel caso di bitumi modificati con gomma ad alta viscosità.

Interazione bitume-gomma: processo di digestione

3

In letteratura, l'interazione ad alta temperatura del bitume con le particelle di gomma provenienti da pneumatici viene descritta in diversi modi. Viene presentata talvolta come una reazione chimica di degradazione degli elastomeri per effetto termico oppure come un processo di de-vulcanizzazione della gomma in cui vengono rotti i legami zolfo-zolfo propri della vulcanizzazione (in tal caso evidenziati da una diminuzione dello zolfo nella superficie delle particelle di gomma). Tuttavia, l'interazione tra bitume e gomma è principalmente un fenomeno fisico il cui meccanismo principale consiste nel rigonfiamento della gomma dovuto all'assorbimento delle frazioni più leggere del bitume.

3.1 Il processo di digestione della gomma nei bitumi

Nel corso dell'interazione bitume-gomma, le particelle di gomma iniziano a gonfiarsi e ad aumentare di volume come conseguenza dell'assorbimento delle frazioni aromatiche *(Figura 1)*. La superficie esterna delle particelle di gomma diventa gelatinosa e tende a disfarsi per effetto dell'agitazione mentre viene incorporata nel bitume. Portando il fenomeno al limite, se temperatura o energia di agitazione venissero protratti, la particella di gomma scomparirebbe all'interno del bitume.

L'interazione della gomma con il bitume prende il nome di **digestione**.

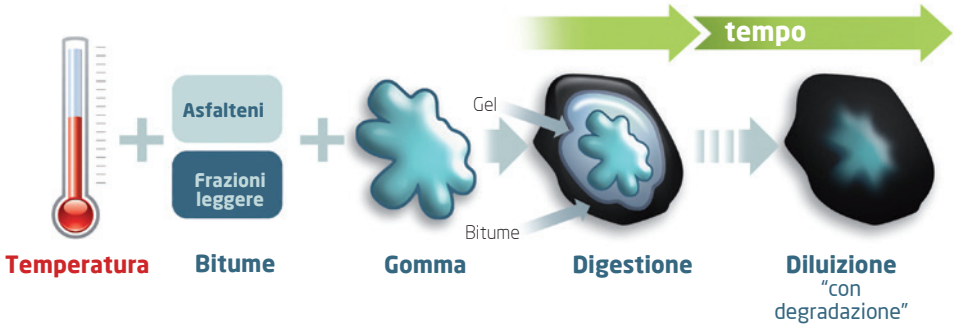


Figura 1. Evoluzione dell'interazione bitume-gomma

La *Figura 2* illustra schematicamente l'evoluzione del processo di digestione nel tempo; l'opportuna combinazione di temperatura e tempo di contatto garantisce il corretto grado di integrazione della gomma nel bitume con un miglioramento complessivo delle proprietà del legante. L'eccessivo protrarsi del processo comporta la diluizione della gomma nel bitume con una conseguente riduzione del miglioramento ottenuto precedentemente.

Figura 2. Evoluzione delle proprietà modificate

Esistono varie tecniche per studiare il processo di digestione della gomma nel bitume. Tra le altre, figurano il filtraggio della gomma in sospensione, la microscopia elettronica a scansione (SEM), il frazionamento del bitume (SARA), la spettrometria infrarossa, la cromatografia per gel filtrazione e la microscopia a fluorescenza. Hanno tutte contribuito a migliorare la conoscenza dell'interazione bitume-gomma.

In breve, favoriscono il processo di digestione:

- l'aumento della temperatura
- il prolungamento del tempo di contatto
- la riduzione della dimensione delle particelle di gomma
- l'aumento del contenuto di frazioni leggere nel bitume
- l'aumento dell'energia di miscelazione

"L'opportuna combinazione di temperatura e tempo di contatto garantisce il corretto grado di integrazione della gomma nel bitume con un miglioramento complessivo delle proprietà del legante."

Classificazione del polverino di gomma

4

La conoscenza delle specifiche tecniche del polverino di gomma è un fattore imprescindibile per la corretta formulazione dei bitumi gommati. I numerosi studi bibliografici hanno dimostrato che la composizione della gomma e la granulometria del polverino sono le due variabili che influiscono maggiormente sulle proprietà finali del bitume gommato.

La Circolare 21/2007 definisce il polverino di gomma come il prodotto della granulazione di Pneumatici Fuori Uso avente dimensioni inferiori a 1 mm e il cui contenuto di particelle fini inferiori a 0,063 mm non supera il 15% in peso. Inoltre, deve essere composto principalmente da gomma naturale e sintetica, con percentuali massime di contaminanti ferrosi (< 0,01%), tessili (< 0,5%) o di altro tipo (0,25%).

Il presente capitolo riporta le principali caratteristiche del polverino da PFU e la descrizione dei metodi di prova per la relativa classificazione.

4.1. Caratteristiche e metodi di prova

Si riportano di seguito le principali caratteristiche del polverino:

- **Composizione chimica:** il polverino da PFU è composto da una miscela di diverse gomme, prevalentemente gomma naturale (NR) e gomme sintetiche, tra cui quelle del tipo (SBR) e (BR). La proporzione di queste gomme dipende dall'origine del pneumatico di partenza: ad esempio, il contenuto di gomma naturale dei pneumatici per mezzi pesanti è superiore a quello dei pneumatici per mezzi leggeri (auto, furgoni, motociclette...).

  Per misurare il contenuto di gomma naturale, l'unico metodo esatto è quello basato sulla determinazione del ^{14}C che definisce il contenuto di biomassa di un campione e che risulta pari al suo contenuto di gomma naturale.

- **Densità apparente:** può variare leggermente a seconda del processo produttivo. Ciononostante, quale valore di riferimento è possibile considerare una densità apparente dell'ordine di 0,5 Kg/dm^3, con leggere oscillazioni in funzione del fuso granulometrico e del tipo di pneumatico utilizzato.

- **Granulometria:** oltre a verificare che le particelle di polverino di gomma siano inferiori ad una determinata dimensione, è anche importante conoscerne la distribuzione delle dimensioni sulla curva granulometrica. Il metodo di prova per determinare la granulometria è contemplato nella norma europea UNI-CEN/TS 14243:2010 *"Materiali prodotti da pneumatici fuori uso. Specifiche delle categorie basate sulle loro dimensioni e impurità, e metodi per la determinazione delle loro dimensioni e impurità."*

  Il metodo di prova per determinare la distribuzione della dimensione delle particelle consiste nel setacciare un campione di almeno 150 g mediante l'uso di un dispositivo di setacciatura con movimento almeno bi-dimensionale. Il tempo minimo di setacciatura è pari a 10 minuti. Il rapporto di prova deve fornire la curva granulometrica in cui, oltre ai limiti superiore e inferiore, vengono indicate le percentuali di materiale passante attraverso i setacci intermedi posti nel sistema.

- **Contenuto di acciaio o materiali ferromagnetici:** il contenuto di acciaio libero viene determinato attraverso la separazione magnetica del metallo dal campione di polverino analizzato. Il metodo di prova di cui alla norma UNI-CEN/TS 14243:2010 prevede lo spargimento di un campione di polverino di 500 grammi su un vassoio tale da ottenere uno spessore inferiore a 2 cm. Il campione è quindi scansionato con una calamita avente una superficie maggiore di 2 cm^2 e 1 T (Tesla) di intensità minima in modo tale da estrarre le particelle di acciaio che sono successivamente pesate e quantificate.

- **Contenuto di materiale tessile:** la norma UNI-CEN/TS 14243:2010 prevede la separazione manuale degli agglomerati di fibre tessili che si generano durante la setacciatura del polverino e che vengono dunque rinvenuti nei setacci sotto forma di "batuffoli" che possono essere pesati e quantificati.

- **Contenuto di impurità:** la norma CEN-TS 14243:2010 descrive un metodo di prova per misurare il contenuto di impurità che si basa sulla separazione densimetrica di tali materiali, quando un campione di 150g di polverino viene immerso in una soluzione salina avente densità pari a 1,125 g/ cm^3 ottenuta dalla dissoluzione di 300 g di sale in 1 litro di acqua. La gomma galleggia grazie alla densità inferiore a quella del liquido; gli inerti ed i contaminanti minerali decantano invece sul fondo del recipiente di prova.

- **Contenuto di umidità:** l'analisi può essere realizzata in conformità alla Norma UNI 1097-5 (salvo per quanto riguarda la temperatura di riscaldamento della stufa che sarà pari a 105±5°C e la massa minima del campione che sarà pari a 100 g). Tale norma descrive la prova per determinare l'umidità degli aggregati attraverso l'essiccazione in stufa ventilata.

> ***"I metodi di prova per determinare la granulometria sono contemplati dalla norma europea UNI-CEN/TS 14243:2010"***

Progettazione di bitumi gommati

5

La progettazione di un bitume gommato in laboratorio è un processo che prevede la selezione dei componenti e dei parametri di processo affinché sia possibile in seguito riprodurre le stesse condizioni su scala industriale ed ottenere quindi un prodotto che soddisfi le specifiche prescritte.

Benché non si tratti di un procedimento eccessivamente complesso, le indicazioni di cui alla presente Guida e l'esperienza maturata da ciascuno sono fattori utili a velocizzare il processo.

I seguenti paragrafi descrivono, passo a passo, il procedimento a cui attenersi per eseguire la progettazione di un bitume con gomma.

5.1 Selezione del bitume di base

Quale criterio di partenza, il bitume di base deve avere una penetrazione più elevata di quello che si intende ottenere. La gomma, analogamente agli altri polimeri comunemente usati, tende ad indurire il bitume a temperature di servizio medie e alte. In base ai termini della normativa spagnola sui leganti, l'aggiunta di gomma ad un bitume di base comporta la diminuzione della penetrazione e un aumento della temperatura di rammollimento.

Anche la natura chimica del bitume influisce sull'interazione con la gomma e quindi sul risultato finale. In via generale, sono preferibili i bitumi il cui contenuto di composti nafteni-aromatici e aromatici-polari in conformità alla norma (NLT-373) è più elevato. Ad ogni modo, la variabilità di composizione del bitume, all'interno dei *range* comunemente utilizzati in Spagna, influisce in quantità minore sulle caratteristiche del bitume gommato rispetto a quanto possa influire la penetrazione del legante originale.

5.2 Selezione del polverino di gomma

Il parametro che maggiormente influisce sulla modifica del bitume è rappresentato dalla granulometria del polverino di gomma. In via generale, le granulometrie più grosse rallentano l'interazione bitume-gomma e accentuano i problemi di sedimentazione nel prodotto finale. Si consigliano granulometrie continue con dimensioni massime pari a 0,8 mm.

Anche la composizione chimica della gomma influisce sulle caratteristiche finali del bitume. Il parametro di controllo deve essere la percentuale di frazione elastomerica, nonché il contenuto di gomma naturale. In entrambi i casi sono preferibili valori più elevati possibile.

> **"L'aggiunta di gomma ad un bitume di base comporta una diminuzione della penetrazione e un incremento della temperatura di rammollimento."**

Infine, va considerato il metodo di macinazione della gomma: a temperatura ambiente o criogenico. In via generale, è consigliabile la macinazione a temperatura ambiente poiché offre una maggiore superficie specifica oltre ad essere anche quella più diffusa sul mercato.

5.3 Selezione del polimero

Nel caso di bitumi modificati, viene frequentemente utilizzato un polimero per completare il grado di modifica parzialmente ottenuto con la gomma. Per quanto riguarda il polimero da utilizzare, il paragrafo 7.1.3 della presente Guida riporta alcune indicazioni per la selezione dello stesso. I più efficaci per completare l'effetto della gomma sono quelli basati su elastomeri di tipo SBS (stirene-butadiene-stirene). Si presentano solitamente sotto forma di polvere o granella, pellet ecc. La scelta di utilizzare l'una o l'altra forma dipende dal tipo di miscelatore utilizzato, come spiegato nella sezione successiva.

I polimeri di tipo SBS presenti sul mercato sono numerosi e differiscono in quanto a struttura, proprietà meccaniche e compatibilità con il bitume, fornendo quindi risultati anche molto diversi tra loro.

Analizzando le proprietà dei polimeri utilizzati nel presente studio e i risultati sulle proprietà del bitume, si deduce che i polimeri SBS di tipo radiale o ramificato hanno una maggiore capacità di modifica del bitume e sono quindi preferibili ai polimeri di tipo lineare. Questa maggiore capacità di modifica è dovuta al fatto che le strutture ramificate facilitano la creazione di reti tridimensionali all'interno del bitume.

5.4 Selezione del miscelatore di laboratorio

A livello di laboratorio, esistono due principali tipi di miscelatori: gli agitatori ad alta o bassa velocità di rotazione e i miscelatori ad alto potere di taglio.

Presso gli impianti di produzione sono spesso utilizzati gli agitatori ad alta velocità in quanto la modifica del legante avviene solo con gomma di pneumatici. Quando è previsto l'uso di polimeri SBS è più opportuno utilizzare i mulini ad alto taglio (high shear).

Analogamente a quanto avviene in produzione, anche in laboratorio è raccomandato utilizzare un miscelatore ad alto potere di taglio qualora si impieghino anche i polimeri in aggiunta alla gomma; in alternativa, per utilizzare un semplice miscelatore, il polimero deve presentarsi sotto forma di polvere per facilitarne la dispersione nel legante.

Il tipo di miscelatore usato in laboratorio deve sempre essere coerente con quello di cui si dispone in impianto di produzione. A titolo esemplificativo, se l'impianto di produzione industriale comprende un miscelatore e un serbatoio di digestione, in laboratorio sarebbe utile riprodurre tale schema facendo seguire ad una prima fase di miscelazione vigorosa, un periodo di digestione durante il quale il bitume e la gomma sono mantenuti in agitazione con un miscelatore a bassa velocità.

L'Allegato 1 della presente Guida contiene alcuni modelli caratteristici di entrambi i tipi.

5.5 Temperatura di miscelazione e tempo di digestione

È stato constatato che l'intensità con cui interagiscono bitume e gomma, nel corso della produzione, raddoppia ogniqualvolta vengono aumentati 10°C di temperatura. Pertanto, maggiore è la temperatura, minore sarà il tempo di digestione richiesto.

Tuttavia, l'eccessivo riscaldamento dei bitumi ne provoca anche la rapida ossidazione; per tale motivo, devono essere evitate temperature inutilmente elevate. Le temperature di miscelazione dovrebbero solitamente essere comprese nei seguenti *range*:

- Bitume con contenuto di gomma fino al 22%: 185-195°C
- Bitume con contenuto di gomma fino al 15%: 175-195°C

Occorre considerare che a seguito dell'aggiunta di una consistente quantità di gomma e polimero a temperatura ambiente, la temperatura del bitume può diminuire di 10°- 40°C circa, in funzione della percentuale di gomma aggiunta e della temperatura ambiente; è dunque essenziale, dopo una prima miscelazione manuale con una spatola, riscaldare nuovamente la miscela di bitume e gomma alla temperatura desiderata prima di

procedere alle operazioni di miscelazione vere e proprie.

I tempi di digestione dovrebbero essere attorno ai 60 minuti, anche se su scala industriale tale tempo può essere leggermente ridotto.

5.6 Prelievo di campioni e prove di controllo

Si tratta di un aspetto estremamente importante. In generale, i bitumi con gomma tendono alla sedimentazione, pertanto, nel prelevare campioni per ciascuna prova, è necessario osservare le seguenti precauzioni:

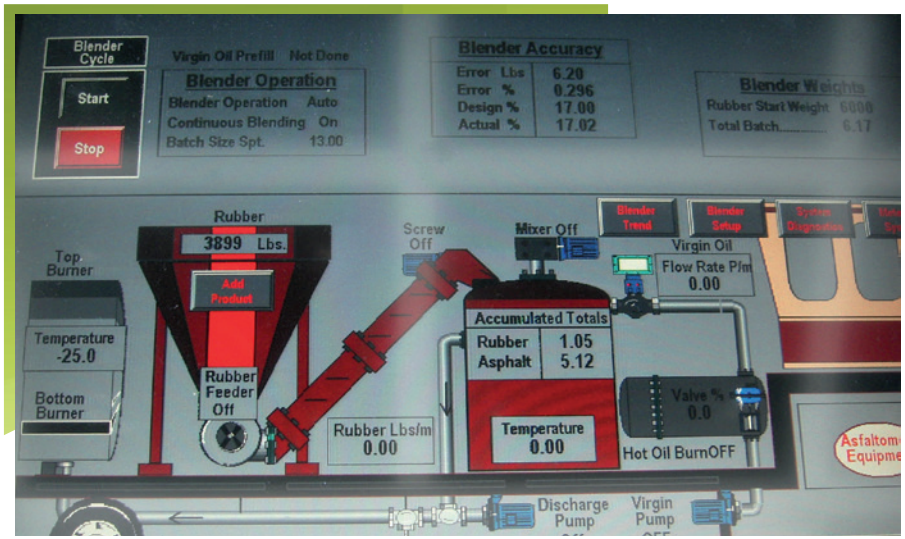
- Mescolare con la spatola prima e durante il prelievo del campione.
- Prelevare campioni in piccoli recipienti e farli raffreddare il più rapidamente possibile.
- Se vengono realizzate prove dello stesso campione per diversi giorni, dividere inizialmente il campione in più porzioni, affinché vengano riscaldati singolarmente e venga scartato il materiale in eccedenza dalle prove precedenti.

Indicativamente, per realizzare le prove abituali, sarà sufficiente un campione da circa 650 g, che verrà suddiviso tra le diverse prove da realizzare.

5.7 Formulazione del bitume in laboratorio

Una volta raggiunte le specifiche in una o più prove, dovrà essere redatto un documento di formulazione di laboratorio che sarà composto almeno dai seguenti elementi:

- La composizione ponderale del prodotto da realizzare: percentuale in peso di bitume, di gomma ed eventualmente, di polimero.
- I requisiti del bitume di base, in particolare la relativa penetrazione e l'origine dello stesso.
- I requisiti della gomma, in particolare la granulometria e il tipo di pneumatico di origine (percentuali).



- Identificazione del polimero, nei casi in cui viene aggiunto. Verrà preso in considerazione sia il nome commerciale sia la forma in cui si presenta: in polvere, in granuli ecc.
- La temperatura di miscelazione e la temperatura di digestione, quando quest'ultima differisca dalla prima.
- Il tempo minimo di digestione, inteso come la somma del tempo nel miscelatore e nel digestore, ove sia presente e differisca dal primo.
- Caratteristiche del prodotto finale: penetrazione, temperatura di rammollimento. Per bitumi ad alta viscosità, può essere altresì fornito il valore di riferimento del parametro viscosità.

Il presente documento sarà utile ai fini della formulazione su scala industriale.

5.8 Verifica delle caratteristiche del legante su scala industriale

Solitamente, esistono delle differenze tra le caratteristiche dei bitumi prodotti in laboratorio e quelli ottenuti sull'impianto industriale. Infatti, sono numerosi i parametri che possono differire nell'uno o nell'altro caso come, ad esempio, il diverso tipo di miscelatore, l'energia di miscelazione, la diversa esposizione all'ossigeno ed il conseguente diverso grado di invecchiamento, ecc.

Il processo di verifica deve quindi iniziare con la formulazione del legante in laboratorio e procedere con la produzione di una prima mescola su scala industriale, controllando che le proprietà del materiale prodotto corrispondano a quelle misurate nei campioni di laboratorio. Successivamente dovranno essere apportate le opportune rettifiche alla formulazione in modo tale da replicare i risultati su scala reale. Si tratta di un processo iterativo breve nonché superfluo una volta acquisita una certa esperienza.

Produzione di bitumi gommati su scala industriale

6

Una volta ottenuta la formulazione del legante con gomma su scala di laboratorio, si procede alla produzione su scala industriale. A tale scopo, esiste una serie di apparecchiature i cui principi di base sono illustrati di seguito.

Il presente capitolo descrive le diverse fasi della produzione industriale: la ricezione del bitume, della gomma ed eventualmente del polimero, la produzione del legante con gomma, i controlli di produzione e del prodotto finale nonché le condizioni di stoccaggio.

6.1 Sistemi per la produzione di bitumi gommati su scala industriale

La produzione di bitumi gommati richiede una efficace interazione tra il bitume, la gomma, talvolta i polimeri ed eventualmente altri additivi di diverso tipo che contribuiscono ad acquisire o mantenere determinate proprietà del bitume.

> ***"L'obiettivo dell'unità di produzione dei bitumi modificati consiste nel garantire l'interazione efficace tra i componenti nel più breve tempo possibile."***

6.1.1 Configurazioni delle unità di produzione più comuni

Esistono due schemi fondamentali di produzione: miscelazione in linea, detta anche continua, e miscelazione per batch, ossia discontinua.

- **Miscelazione in linea**

Nella **miscelazione in linea**, i componenti da miscelare passano attraverso l'apparecchiatura in modo continuo ed escono dalla stessa già miscelati. Lo schema della *Figura 3* ne offre una rappresentazione.

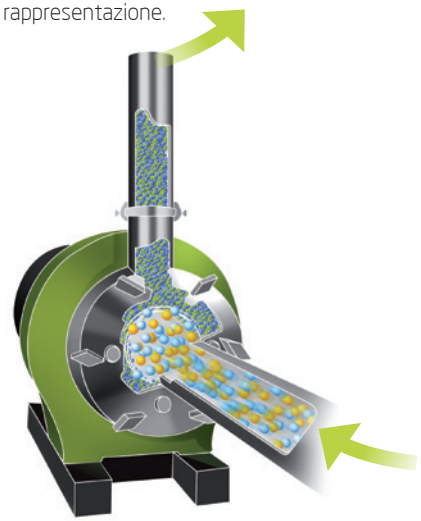


Figura 3. Miscelatore in linea

In questo tipo di miscelatore la produzione può essere ottenuta senza ricircolo *(Figura 4)* o per mezzo di un circuito di ricircolo *(Figura 5)* ripetendo i passaggi necessari nel miscelatore fino ad ottenere un grado di interazione tale da garantire la conformità alle specifiche di prodotto.

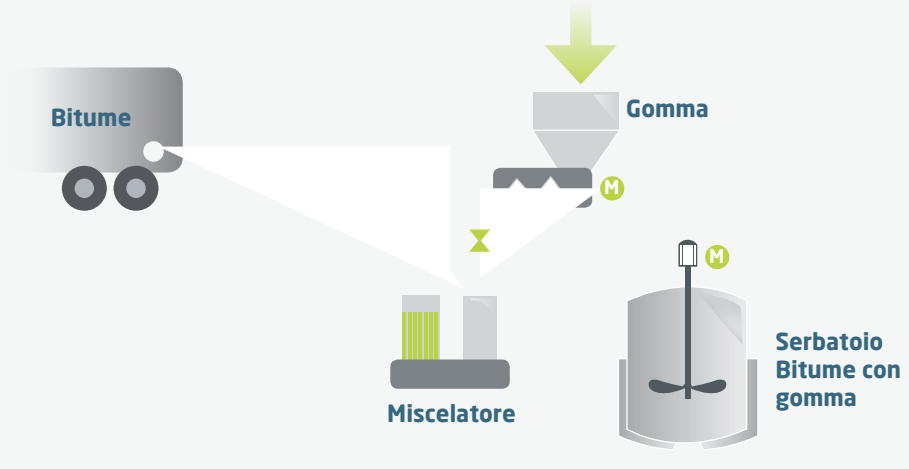


Figura 4. Miscelatore in linea, senza ricircolo

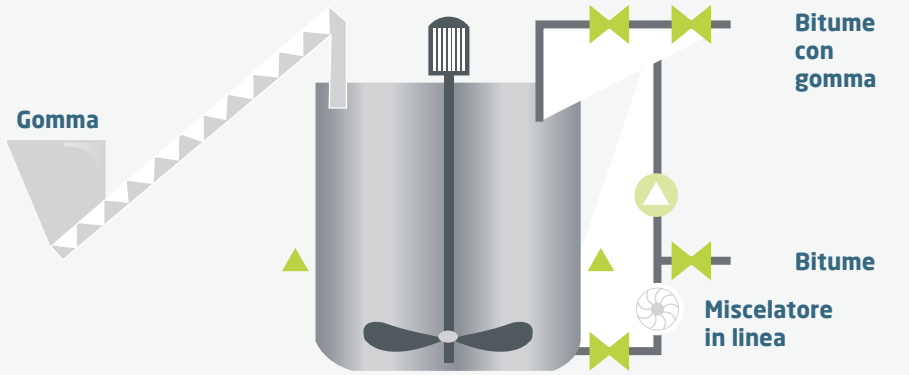


Figura 5. Miscelatore in linea, abbinato ad un circuito di ricircolo

- **Miscelazione a batch**

Lo schema di miscelazione a batch consiste nell'introduzione di un agitatore in un serbatoio, in modo che, per un intervallo di tempo prestabilito, la miscela del bitume con gomma e gli eventuali additivi siano in continuo movimento per consentire una corretta interazione tra gli stessi.

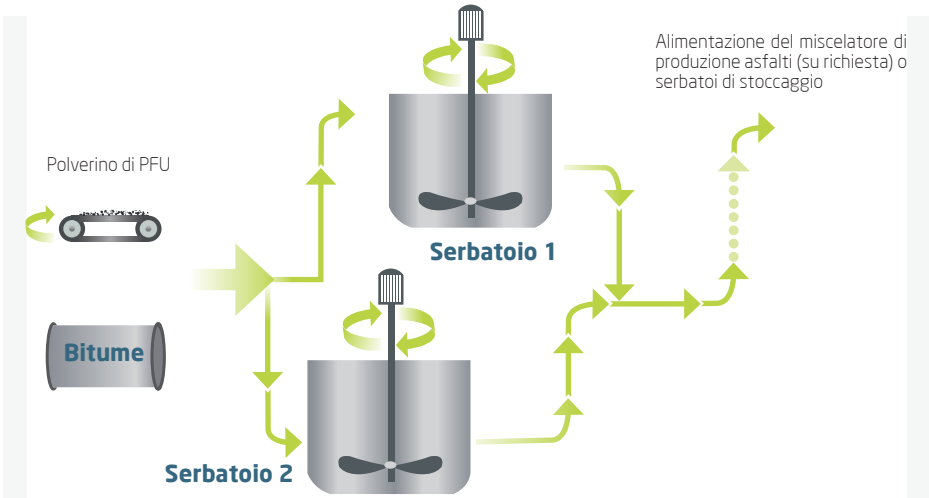


Figura 6. Unità di produzione di bitumi modificati a batch con due serbatoi identici

In ogni caso, per ottenere una buona interazione tra bitume e polverino di gomma, l'impianto di preparazione del legante gommato dovrà essere regolato in modo tale da garantire al bitume e alla gomma il tempo di digestione minimo indicato nella formulazione di laboratorio. Questo è calcolato sommando il tempo di miscelazione al tempo di permanenza nel serbatoio di digestione, ove previsto.

6.1.2 Tipi di miscelatori

Indipendentemente dalla configurazione dell'unità di produzione di bitumi gommati, il miscelatore vero e proprio può essere del tipo convenzionale (alta/bassa velocità) oppure ad alto potere di taglio (mulini high shear).

> ***"Il mulino ad alto potere di taglio è in grado di tagliare le particelle di polvere di PFU favorendo l'interazione con il bitume."***

Nel primo caso, l'elemento meccanico che dà origine alla miscelazione è in grado di tagliare o rompere le particelle così da ridurre la dimensione delle stesse e facilitare lo sviluppo di nuove superfici sulle quali progredisce l'interazione. Tali miscelatori ad alto potere di taglio sono generalmente dotati di una parte fissa detto "statore" e di una parte mobile detta "rotore" la cui distanza è limitata e solitamente

regolata con viti micrometriche. Per mezzo di un effetto di aspirazione, la miscela è costretta a passare tra le due parti, subendo un effetto di taglio molto intenso che contribuisce a ridurre le dimensioni delle particelle di gomma e ad aumentarne la superficie specifica, favorendone l'interazione con il bitume.

I miscelatori tradizionali consistono in un sistema miscelatore più o meno potente che mantiene l'agitazione del liquido, migliorando l'interazione del bitume con la gomma altrimenti più lenta.

Tra i due tipi di miscelatori precedenti, dovrebbero essere collocati dispositivi ad alta velocità (> 3000 rpm) dotati di una testa rotante progettata non solo per creare un vortice nel liquido ma anche per tagliare o rompere parzialmente le particelle.

L'impiego dell'una o dell'altra configurazione o tipo di miscelatore, dipende dal produttore dell'unità di bitumi modificati. L'Allegato 2 contiene informazioni più dettagliate sulle apparecchiature più diffuse sul mercato, i vantaggi e gli svantaggi delle stesse, le macchine aggiuntive necessarie, i collegamenti all'impianto di produzione asfalti ecc.

Come raccomandazione generale, qualora si utilizzino altri polimeri insieme alla gomma, l'uso di mulini di tipo colloidale è consigliabile per garantire una corretta interazione dei componenti.

6.2. Componenti della formulazione del legante

Come formulazione di partenza, verrà presa quella ottenuta in laboratorio una volta effettuate le verifiche del caso su scala industriale, come indicato ai punti 5.7 e 5.8. Si dovrà prestare particolare attenzione a:

6.2.1 Polverino di gomma: ricezione, stoccaggio e controllo

Il polverino di gomma è generalmente fornito in cisterne o big-bags il cui volume si aggira attorno ai di 2 m^3. All'arrivo, viene controllata la scheda tecnica che correda ciascuna spedizione, che deve contenere almeno le seguenti informazioni:

- Ragione sociale del fornitore e data di produzione.
- Fuso granulometrico.
- Proporzioni, in percentuale, dei tipi di pneumatici utilizzati nella produzione.
- Contenuto di umidità in percentuale (%).
- Contenuto di fibre tessili in percentuale (%).
- Contenuto di particelle ferromagnetiche in percentuale (%).
- Contenuto di altre impurità in percentuale (%).

A seconda del sistema di gestione della qualità dei materiali, verrà controllata la conformità con i parametri e si procederà allo stoccaggio, adeguatamente protetto in particolare contro la pioggia, fino al suo consumo. Se i contenitori (big-bags) non sono dotati di uno strato di polietilene interno atto a proteggere la gomma in caso di pioggia, gli stessi dovranno essere coperti con un telo o altro elemento per garantirne la protezione contro l'acqua. In caso contrario, la gomma dovrà essere stoccata in luogo coperto.

Per comprendere quanto sia importante preservare la gomma dall'umidità, occorre tener conto che, benché questa venga eliminata durante la produzione del bitume gommato, la stessa potrebbe dare luogo alla formazione di schiume nel momento in cui entra in contatto con il bitume, aumentando il rischio di spruzzi e fuoriuscite di legante caldo, oppure, nel migliore dei casi riducendo la produttività dell'impianto.

6.2.2 Polimero: ricezione, stoccaggio e controllo

Il polimero, indipendentemente dalla forma in cui si presenta, dovrà pervenire provvisto del relativo certificato fornito dal fornitore.

Prima dell'uso, è necessario verificare che il prodotto corrisponda a quello utilizzato nella formulazione di laboratorio.

Per quanto riguarda le condizioni di stoccaggio, devono essere osservate le stesse precauzioni indicate per la gomma, soprattutto per quanto riguarda la protezione contro l'umidità.

6.3 Produzione del bitume gommato

Prima di avviare la produzione, è necessario controllare che tutte le attrezzature siano in perfetto stato: caldaie, circuito termico, dispositivi di dosaggio, pompe ecc.

Una volta avviata la produzione, è necessario verificare che la temperatura del bitume di base che entra nell'unità di produzione, quella all'interno del miscelatore e quella del bitume gommato nel serbatoio di digestione, se diverso dal miscelatore, corrispondano alle condizioni di produzione stabilite nella formulazione di laboratorio. A tal fine, l'apparecchiatura deve essere dotata dei relativi sistemi di misurazione della temperatura, posti in un punto facilmente accessibile.

Analogamente, verranno verificate le temperature nelle tubazioni, nei tubi a gomito, nelle pompe e negli ulteriori elementi a contatto con il bitume, soprattutto ove non riscaldati. In questa fase può essere notevolmente di supporto l'uso di una termocamera. L'obiettivo è quello di evitare "tappi freddi" nei circuiti che deve percorrere il bitume e, in particolare, il bitume gommato.

Durante la produzione, si controllerà la temperatura del bitume nelle varie fasi di processo, adottando le misure necessarie per rettificare gli scostamenti rispetto a quanto indicato nella formulazione in laboratorio.

Una volta iniziata la produzione, si presterà particolare attenzione affinché la proporzione tra i componenti corrisponda a quanto previsto nella formulazione di laboratorio.

Inoltre, al fine di rispettare i tempi minimi di digestione, si eviterà di superare la capacità oraria dell'apparecchiatura, conformemente alla sua progettazione.

6.4 Controllo della produzione

La viscosità del legante è aumentata dalla presenza di gomma nel bitume. Tale proprietà fisica può essere misurata in modo continuo, ad esempio in una tubazione di ricircolo. Per questa ragione, la viscosità è un parametro di controllo di qualità istantaneo che non richiede il prelievo di campioni e che permette quindi di individuare immediatamente difetti significativi nel processo di produzione.

Ciononostante, il prelievo di campioni costituisce, assieme al controllo delle temperature e del tempo di produzione (compresa la digestione), il principale elemento per il controllo di qualità del legante.

A tal fine, l'unità di produzione deve essere dotata di opportune valvole di campionamento. Affinché il campione prelevato sia rappresentativo del materiale fornito all'impianto di produzione-asfalti, questo deve essere prelevato da un punto vicino all'uscita dal serbatoio.

Per un idoneo controllo delle specifiche del bitume, è necessario scaricare -prima del prelievo- una quantità di legante sufficiente a garantire che il campione provenga effettivamente dal serbatoio e non semplicemente dalla tubazione o dalla valvola di campionamento (minimo 3-4 Kg).

A sua volta, il campione deve essere costituito da altri 3-4 kg di bitume gommato, introdotti in un contenitore metallico, di circa 5 dm^3 di capacità, dotato di chiusura per garantire la conservazione del campione.

Con le opportune cautele, tale quantità di campione consente di effettuare prove di viscosità con viscosimetro manuale grazie al buon mantenimento della temperatura

nella parte centrale del contenitore rispetto a quanto avviene in campioni più piccoli. Il prelievo di sotto-campioni del materiale prodotto sul campo deve essere effettuato attenendosi alle precauzioni di cui al paragrafo 5.6 della presente Guida in relazione al prelievo di campioni in laboratorio.

Nel corso delle prime prove su scala industriale, partendo da una formulazione di laboratorio, verranno prelevati campioni per verificare che il prodotto fabbricato risponda alle specifiche di riferimento di cui al *capitolo 2 della presente Guida*, con i limiti nello stesso riportati.

In riferimento alla frequenza dei controlli, si consiglia che per ogni 50 tonnellate di prodotto realizzato, e almeno due volte per ogni giornata di lavoro, venga prelevato un campione di 3-4 kg su cui verrà misurato il valore di viscosità *in situ* con viscosimetro manuale. Lo stesso campione sarà quindi suddiviso in sotto-campioni per determinare in laboratorio il valore di penetrazione, la temperatura di rammollimento e il ritorno elastico. Il contenitore con il campione in eccedenza verrà sigillato ed etichettato indicandone l'origine, la data e l'ora del campionamento, nonché le possibili incidenze del caso (tempo di stoccaggio prolungato, numero di volte in cui è stato riscaldato ecc.). Il campione adeguatamente identificato verrà conservato per successive verifiche, ove necessario.

Inoltre, durante la produzione di bitumi ad alta viscosità, ogni ora verrà prelevato un campione da sottoporre a prova di viscosità con viscosimetro a rotazionale manuale. Tutte le informazioni ottenute sulla viscosità saranno riportate in una relazione che verrà presentata all'organismo di controllo.

6.5 Stoccaggio dei bitumi gommati

In generale, i bitumi con polverino di gomma sono prodotti da consumare nel minor tempo possibile. Sono tre i motivi alla base di questa raccomandazione: il primo consiste nella tendenza alla sedimentazione delle particelle, il secondo fa riferimento al *creaming* in superficie che si genera nel momento in cui vengono aggiunti i polimeri e, infine, l'evoluzione delle sue proprietà con l'avanzare del tempo di stoccaggio.

Ciononostante, la dinamica stessa dei lavori in cantiere farà sì, in molti casi, che siano necessarie ore di stoccaggio, poiché la produzione di bitume con gomma e il consumo in cantiere non sempre sono sincronizzati date le numerose contingenze che solitamente influiscono su un'opera di pavimentazione.

Pertanto, si tratta di raggiungere un compromesso tra le due realtà, l'esigenza di consumare il prodotto immediatamente dopo la sua produzione e la necessità di operare con una determinata capacità di stoccaggio e regolarità nell'alimentare l'impianto.

A seguire, vengono fornite alcune indicazioni per un corretto stoccaggio:

- i serbatoi di stoccaggio, oltre a disporre dei consueti sistemi di riscaldamento e isolamento termico, devono essere dotati di un agitatore tale da mantenere il prodotto costantemente agitato ed evitare decantazioni e disomogeneità del legante.
- Il tempo massimo di stoccaggio deve essere pari a tre giorni.
- La temperatura di stoccaggio deve essere simile o inferiore a quella di digestione.
- Laddove lo stoccaggio si protragga per oltre 24 ore, solitamente la temperatura viene abbassata gradualmente, per poi provvedere al riscaldamento prima di riprendere il consumo. Questi cicli raffreddamento-riscaldamento devono essere al massimo due, in quanto la reiterazione del processo può accelerare la degradazione della gomma e la perdita di proprietà del bitume gommato.

Nei casi in cui non sia possibile evitare svariati cicli di raffreddamento-riscaldamento, o se i tempi di stoccaggio superino i 3 giorni (ad esempio, a causa della durata di condizioni meteorologiche avverse alla posa in opera) verranno verificati i parametri fondamentali del bitume: penetrazione, temperatura di rammollimento e recupero elastico. La viscosità verrà verificata nel caso di bitumi con gomma ad alta viscosità. Nel caso di lievi scostamenti rispetto alle specifiche del prodotto, è consigliabile:

- Consumare il bitume con gomma come se si trattasse di un bitume tradizionale e sempre in miscele bituminose destinate ad applicazioni aventi minori esigenze tecniche.
- In alternativa, si potrebbe aggiungere al serbatoio più prodotto realizzato con una concentrazione di gomma e/o polimeri superiore a quella originale, fino a recuperare le proprietà perdute.

Osservando queste linee guida, è possibile assicurare le qualità del legante ed evitare problemi all'impianto di produzione dei conglomerati bituminosi.

"Si tratta di raggiungere un compromesso tra le due realtà, l'esigenza di consumare il prodotto immediatamente dopo la sua produzione e la necessità di operare con una determinata capacità di stoccaggio e regolarità nell'alimentare l'impianto."

Formulazioni tipo di bitumi gommati

7

Come precedentemente enunciato, uno dei principali obiettivi della presente Guida consiste nel fornire delle linee guida precise sulla composizione dei bitumi gommati più utilizzati in Spagna, in ottemperanza ai requisiti richiesti dalle specifiche spagnole di cui all'articolo 212 del PG-3 e alla Circolare 21/2007.

È noto che le caratteristiche dei bitumi gommati dipendono dall'origine e dalla granulometria della gomma, dal bitume di base e dall'eventuale polimero addizionale, nonché dal tipo di miscelatore impiegato che può influire su alcune proprietà del legante finale.

Perciò, non è possibile fornire una composizione ideale per tutti i bitumi e le gomme e per tutte le apparecchiature di miscelazione. Tuttavia, è possibile fornire delle formulazioni indicative che, nella maggioranza dei casi, soddisferanno le specifiche. Ad ogni modo, è necessario condurre ulteriori prove di laboratorio per ottimizzare la formulazione e contenere, quando possibile, i costi di produzione.

"Le caratteristiche dei bitumi gommati dipendono dall'origine e dalla granulometria della gomma, dal bitume di base e dall'eventuale polimero addizionale, nonché dal tipo di miscelatore impiegato che può influire su alcune proprietà del legante finale."

È con questo spirito che è stata condotta la serie di prove di laboratorio di seguito riportate che sono state concepite per fornire formulazioni-tipo di largo impiego e diffusione.

7.1 Caratteristiche e selezione dei materiali

A seguire, vengono descritte le caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione del presente studio di laboratorio.

7.1.1 Caratteristiche o selezione dei bitumi base

Sulla base dei dati di letteratura e dell'esperienza maturata finora, i bitumi ad elevato contenuto di composti aromatici presentano una migliore capacità di interagire con la gomma. Per lo sviluppo sperimentale del lavoro, sono stati analizzati campioni di bitumi di base con penetrazione 50/70 provenienti da 4 raffinerie spagnole. La scelta dei leganti si è basata sull'origine del greggio e sul tipo di processo di raffinazione utilizzato, affinché i bitumi testati fossero molto diversi tra loro e i comportamenti misurati fossero sufficientemente rappresentativi dei bitumi utilizzati comunemente nel nostro paese (NdT. ossia in Spagna).

La caratterizzazione dei bitumi consiste solitamente nel frazionamento (norma NTL-373/94) con solventi dei principali componenti idrocarburici. Trattando con n-eptano il bitume si ottiene un precipitato insolubile (asfalteni) ed una frazione oleosa (malteni) che può essere ulteriormente scomposta in tre frazioni attraverso l'analisi cromatografica: gli oli saturi, i nafteni-aromatici (o semplicemente aromatici) e gli aromatici polari (detti anche resine).

A seguire, i risultati del frazionamento (NTL-373/94) dei quattro bitumi:

	Bitume della Raffineria 1	Bitume della Raffineria 2	Bitume della Raffineria 3	Bitume della Raffineria 4
(A) Asfalteni, %	18,2	13,8	18,8	14,1
(B) Saturi, %	17,7	9,7	12,0	22,4
(C) Naftene-Aromatici, %	43,4	48,3	46,4	45,8
(D) Aromatici Polari, %	20,2	28,0	22,3	17,7
(C+D) Aromatici, %	**63,6**	**76,3**	**68,7**	**63,5**

Tabella 4. Composizione dei bitumi originali

Alla luce di questi risultati, sono state selezionate le raffinerie 2 e 4 in quanto i relativi bitumi presentavano i valori massimi e minimi quanto a contenuto totale di aromatici. Con i bitumi di questi due raffinerie è stato svolto il resto del lavoro di laboratorio.

7.1.2 Caratteristiche e selezione del polverino di gomma

Le caratteristiche principali del polverino di gomma che influiscono sulle proprietà dei bitumi sono:

- la composizione (il contenuto di polimeri e la percentuale di gomma naturale)
- la granulometria
- la modalità di produzione impiegata.

Il polverino di gomma commercializzato in Spagna viene ottenuto unicamente con i sistemi di granulazione a temperatura ambiente. Per tale motivo, i polverini testati sono tutti provenienti da impianti di granulazione a temperatura ambiente.

Per quanto riguarda la **granulometria**, il 100% della gomma utilizzata passa attraverso il setaccio da 0,8 mm e più del 35% viene trattenuto nel setaccio da 0,5 mm. Si tratta di una granulometria ampiamente diffusa nel mercato per la modifica di asfalti.

La **composizione chimica** del polverino di gomma dipende dal tipo di pneumatico da cui è stato prodotto (autocarro, autovettura) che può contenere differenti percentuali di gomma naturale e sintetica. Pertanto, ai fini dello studio di laboratorio, sono state selezionate due gomme con la granulometria di cui sopra: la prima proveniente da pneumatici da autocarro e autovettura in parti uguali (50/50); la seconda ottenuta unicamente dalla granulazione di pneumatici da autocarro (100/0). La composizione di entrambi i prodotti è illustrata nelle *tabelle 5, 6 e 7*.

Per la misura della componente non polimerica della gomma, escluso il nerofumo, viene condotta un'analisi dell'estratto in solvente (ISO 1407) che restituisce i seguenti risultati:

	Plastificante + additivi %		
Origine della Polvere di PFU	misura 1	misura 2	valore medio
50% camion + 50% veicoli leggeri	8,40%	7,92%	8,16%
100% camion	5,75%	6,01%	5,88%

Tabella 5. Analisi dell'estratto acetonico di gomma

Le misure dei principali componenti del polverino avviene attraverso un'analisi termogravimetrica, grazie ad una termobilancia TGA/SDTA 851 di Mettler con le seguenti condizioni:

- Campione da 20 mg.
- Flusso di azoto di 80 mL/min.
- Flusso di ossigeno = 45 mL/min.
- Temperatura di prova = da 30 a 1.000 °C
- Velocità di riscaldamento = 20 °C/min.

A seguire i risultati restituiti:

	TGA			
Origine della Polverino da PFU	Volatili %	Gomma %	Nerofumo %	Ceneri %
50% camion + 50% veicoli leggeri	4,67	57,41	32,22	6,02
100% camion	4,83	57,05	31,69	6,83

Tabella 6. Analisi termogravimetrica di gomma

Per una caratterizzazione completa dei polverini è stato misurato il contenuto di gomma naturale utilizzando il metodo ^{14}C. A seguire i risultati delle prove:

Origine della Polvere di PFU	% Gomma naturale
50% camion + 50% veicoli leggeri	38%
100% camion	47%

Tabella 7. Contenuto di gomma naturale

Questi due tipi di polverino di gomma sono stati impiegati nelle prove sperimentali affinché le formulazioni proposte nei paragrafi seguenti fossero utilizzabili con i più comuni polverini presenti sul mercato spagnolo. Infatti, altre miscele intermedie di pneumatici dovrebbero fornire polverini con comportamenti simili a quelli riscontrati in questo lavoro.

7.1.3 Caratteristiche o selezione dei polimeri

Nel corso delle prime prove di laboratorio, è stato osservato che la modifica ottenuta era più efficace nel caso di un copolimero termoplastico butadiene/stirene 70/30, polimerizzato in soluzione e con una struttura radiale. Il relativo nome commerciale è Calprene 411. Si trova sul mercato sotto forma di pellet porosi e di polvere. In laboratorio è stato utilizzato sotto forma di polvere, poiché il miscelatore utilizzato era del tipo con elica ad alta velocità ma privo di uno statore che generasse un elevato potere di taglio, pertanto era consigliabile l'utilizzo in polvere per facilitare l'inglobamento nel bitume.

7.2 Protocollo di fabbricazione

I bitumi sono stati realizzati mediante l'apparecchiatura di cui alle *figure 9* e *10* dell'Allegato 1. Si tratta di un miscelatore ad elica ad alta velocità abbinato ad un recipiente da 1 litro immerso in un bagno termostatico ad olio in cui viene inserito un campione da 650 g di peso. Dopo una prima miscelazione manuale (con spatola) del bitume e gomma, viene introdotta la testa del miscelatore; un tappo forato lasciato scorrere lungo l'asta dell'agitatore permette la chiusura del recipiente al fine di impedire l'ingresso di aria. Per garantire una migliore sigillatura è possibile utilizzare un rivestimento esterno con fogli di alluminio. Trascorsi 10 minuti di pausa per consentire al campione di raggiungere nuovamente la temperatura di lavoro, inizia il processo di miscelazione selezionando la velocità di rotazione più idonea a ciascun tipo di bitume. I dettagli relativi a temperature, velocità del miscelatore, tempi di funzionamento ecc., possono essere consultati nelle relative schede illustrate nella presente Guida.

Una volta prodotto il bitume gommato, vengono prelevati i vari campioni per le prove di penetrazione, temperatura di rammollimento e recupero elastico, nonché per la prova di viscosità nel caso di bitumi ad alta viscosità.

Per la progettazione di ciascun tipo di bitume gommato, sono stati realizzati 4 leganti:

- Bitume della raffineria 2 + Gomma 50/50 (+ polimero nella fabbricazione dei leganti del tipo PMB).
- Bitume della raffineria 2 + Gomma 100/0 (+ polimero nella fabbricazione dei leganti del tipo PMB).
- Bitume della raffineria 4 + Gomma 50/50 (+ polimero nella fabbricazione dei leganti del tipo PMB).
- Bitume della raffineria 4 + Gomma 100/0 (+ polimero nella fabbricazione dei leganti del tipo PMB).

Per ciascuna di queste quattro combinazioni, sono stati provati vari contenuti di gomma e, nel caso dei leganti PMB, vari contenuti di polimero.

Alla luce dei risultati delle prove, sono state selezionate le ricette che garantiscono la produzione di leganti bituminosi conformi alle specifiche dei 4 casi in esame. Ciò non esclude che con altri tipi di polverino di gomma con granulometria o contenuto di gomma naturale più favorevoli, nonchè con bitumi più compatibili, le formulazioni possano includere percentuali di gomma maggiori.

Mediante questo protocollo di fabbricazione è stata determinata la composizione idonea per fabbricare i leganti BC 35/50, BC 50/70, PMB 45/80-60, PMB 45/80-65, BMAVC-1, BMAVC-3, e un ultimo legante, non contemplato dalla normativa, il BMVAC-1b, più molle del BMAVC-1, e il cui utilizzo è consigliato nelle regioni fredde.

> **"Sono state selezionate le ricette che garantiscono la produzione di leganti bituminosi conformi alle specifiche dei 4 casi in esame."**

I seguenti paragrafi presentano le formulazioni-tipo per ciascuno di questi leganti.

7.3 Formulazioni raccomandate di bitumi gommati

Il presente paragrafo illustra una serie di formulazioni raccomandate per diversi tipi di bitumi gommati. Per semplicità, queste formulazioni vengono presentate sotto forma di scheda di facile impiego. Si tratta di formulazioni che hanno restituito buoni risultati con i materiali e nelle condizioni di laboratorio descritte sopra e devono quindi essere considerate come formulazioni indicative che richiedono una verifica preventiva in laboratorio ed eventuali aggiustamenti affinché il prodotto finale soddisfi le specifiche tecniche.

7.3.1 Bitumi migliorati con gomma

I bitumi migliorati con gomma vengono contemplati nella Circolare 21/2007 del Ministerio de Fomento. Si tratta di bitumi con caratteristiche migliorate rispetto ai bitumi aventi simile penetrazione, con una temperatura di rammollimento leggermente superiore a questi. La loro nomenclatura prevede le lettere BC seguite dal range di penetrazione. Ne esistono due tipi: BC 35/50 e BC 50/70.

L'uso di questi bitumi migliorati è consigliato per la produzione di tutte le miscele bituminose in cui sono utilizzati i bitumi a penetrazione, indipendentemente dallo strato e/o categoria di traffico.

La loro produzione è semplice in quanto il ridotto contenuto di gomma non comporta un incremento sensibile della viscosità. Ciononostante possono sedimentare ed è quindi necessario adottare le idonee misure durante la produzione e lo stoccaggio.

Le *Schede 1 e 2* illustrano la formulazione raccomandata per questi leganti.

SCHEDA 1

BC 35/50

Componenti	Produzione
Bitume di Base: B50/70 **Gomma:** 0/0,8 mm **% Gomma (s/bitume):** 10	**Temperatura (°C):** 185 **Tipo di agitatore:** con elica, 4.000 rpm **Tempo di digestione:** 60 min
Movimentazione e stoccaggio	
Il prodotto può sedimentare. È necessario utilizzare serbatoi dotati di agitatore.	

SCHEDA 2

BC 50/70

Componenti	Produzione
Bitume di Base: B70/100 **Gomma:** 0/0,8 mm **% Gomma (s/bitume):** 10	**Temperatura (°C):** 185 **Tipo di agitatore:** con elica, 4.000 rpm **Tempo di digestione:** 60 min
Movimentazione e stoccaggio	
Il prodotto può decantare. È necessario utilizzare serbatoi dotati di agitatore.	

7.3.2 Bitumi modificati con gomma

In questo tipo di leganti, che solitamente sono ottenuti dalla miscelazione di bitume e polimeri SBS, parte della modifica è ottenuta con l'aggiunta di gomma. Le relative specifiche tecniche sono contemplate nell'articolo 212 del PG-3. Tale articolo tratta i bitumi modificati con polimeri e stabilisce che, nei casi in cui la maggior parte della modifica sia dovuta all'uso di gomma di Pneumatici Fuori Uso, al termine della relativa nomenclatura deve essere posta una "C" tale da indicare il contenuto di gomma. Ad esempio, un legante PMB 45/80-60, avente una penetrazione tra i 45 e 80 decimi di millimetro e una temperatura di rammollimento pari o superiore a 60°, qualora sia stato ottenuto utilizzando prevalentemente gomma sarà denominato PMB 45/80-60-C.

Nella presente Guida sono presentati due leganti modificati con gomma: il PMB 45/80-60-C e il PMB 45/80-65-C. Attraverso l'aggiunta della lettera "C", viene indicata una proporzione maggiore quanto a contenuto di gomma di Pneumatici Fuori Uso.

Questi leganti possono essere utilizzati nei tipi di miscele bituminose, strati e categorie di traffico nei quali si utilizzano i bitumi modificati con polimeri.

È necessario tenere in considerazione che questi leganti possono sedimentare ed è quindi necessario adottare le idonee misure per evitare che accada durante la produzione e lo stoccaggio.

Le *Schede 3 e 4* illustrano le formulazioni di questi bitumi.

SCHEDA 3

PMB 45/80-60 C

Componenti	Produzione
Bitume di Base: B110/120 **Gomma:** 0/0,8 mm **% Gomma (s/bitume):** 4 - 5 **%Polimero C411 (s/bitume):** 2,5 - 3	**Temperatura (°C):** 185 **Tipo di agitatore:** con elica, 8.800 rpm **Tempo di digestione:** 60 min

Formulazione

A seconda del contenuto di aromatici del bitume di base, sono necessarie prove di laboratorio preliminari per determinare il dosaggio migliore.

Produzione

Per la produzione si consiglia l'utilizzo di un mulino ad alto taglio.

Movimentazione e stoccaggio

Il prodotto può sedimentare. È necessario utilizzare serbatoi dotati di agitatore.

SCHEDA 4

PMB 45/80-65 C

Componenti	Produzione
Bitume di Base: B110/120 **Gomma:** 0/0,8 mm **% Gomma (s/bitume):** 4 - 5 **%Polimero C411 (s/bitume):** 3 - 4	**Temperatura (°C):** 185 **Tipo di agitatore:** con elica, 8.800 rpm **Tempo di digestione:** 60 min

Formulazione

A seconda del contenuto di aromatici del bitume di base, sono necessarie prove di laboratorio preliminari per determinare il dosaggio migliore.

Produzione

Per la produzione si consiglia l'utilizzo di un mulino ad alto taglio.

Movimentazione e stoccaggio

Il prodotto può sedimentare. È necessario l'utilizzo di serbatoi dotati di agitatore.

7.3.3 Bitumi modificati ad alta viscosità con gomma

I bitumi ad alta viscosità sono contemplati nella Circolare 21/2007 del Ministerio de Fomento e sono leganti ad elevato grado di modifica. Il presente volume fornisce le linee guida per la produzione di quelli maggiormente utilizzati, ossia il BMAVC-1 e il BMAVC-3. Il primo viene ottenuto con alte percentuali di gomma ed è caratterizzato da una viscosità molto elevata. Il secondo viene invece prodotto con gomma, polimero ed eventuali altri additivi. Si tratta di un legante meno viscoso rispetto al primo, sebbene molto più viscoso dei bitumi tradizionali.

La presente Guida presenta anche un terzo tipo di legante ad alta viscosità denominato BMAVC-1b, dove la "b" indica che si tratta di una varietà più molle rispetto al BMAVC-1. È stato incluso nella Guida poiché, successivamente all'approvazione della Circolare 21/2007, è stato notato che il BMAVC-1 non offriva la flessibilità richiesta in zone con inverni molto freddi. È stato quindi utilizzato con successo un legante simile ma prodotto partendo da una base più molle; tale legante è stato poi denominato BMAVC-1b. I leganti ad alta viscosità con gomma sono raccomandati soprattutto laddove sia richiesta un'alta resistenza alla fessurazione, in particolare in risanamenti di pavimentazioni semirigide e di lastre di calcestruzzo.

Si tratta di leganti che tendono alla sedimentazione, ed è quindi necessario adottare le misure preventive adeguate durante la produzione e lo stoccaggio.

Le *Schede 5, 6 e 7* illustrano le formulazioni di questi leganti.

SCHEDA 5

BMAVC-1

Componenti	Produzione
Bitume di Base: B35/50 **Gomma:** 0/0,8 mm **% Gomma (s/bitume):** 22	**Temperatura (°C):** 195 **Tipo di agitatore:** con elica, 4.000 rpm **Tempo di digestione:** 60 min

Formulazione

Con determinati bitumi di base, più ricchi in termini di frazioni aromatiche, il contenuto di gomma si colloca attorno al 20%.

Movimentazione e stoccaggio

Il prodotto può sedimentare. È necessario l'utilizzo di serbatoi dotati di agitatore.

SCHEDA 6

BMAVC-1b

Componenti	Produzione
Bitume di Base: B50/70 **Gomma:** 0/0,8 mm **% Gomma (s/bitume):** 22	**Temperatura (°C):** 195 **Tipo di agitatore:** con elica, 4.000 rpm **Tempo di digestione:** 60 min

Formulazione

Con determinati bitumi di base, più ricchi in termini di frazioni aromatiche, il contenuto di gomma si colloca attorno al 20%.

Movimentazione e stoccaggio

Il prodotto può sedimentare. È necessario l'utilizzo di serbatoi dotati di agitatore.

Nota aclaratoria

Questo legante non è contemplato nella Circolare 21/2007. È un bitume più molle che ha dimostrato un comportamento migliore nelle zone fredde rispetto al BMAVC-1.

Le proprietà di base di questo tipo di legante sono:

- Penetrazione (UNI-EN 1426): 30/40 dmm
- T palla-anello (UNI-EN 1427): ≥ 68°C
- Viscosità dinamica a 170°C (UNI-EN 13302) ≥ 2000 cP
- Ritorno elastico a 25°C (UNI-UN 13398): ≥ 10%

SCHEDA 7

BMAVC-3

Componenti	Produzione
Bitume di Base: B110/120 **Gomma:** 0/0,8 mm **% Gomma (s/bitume):** 4 - 5 **%Polimero C411 (s/bitume):** 3,5 – 4,5	**Temperatura (°C):** 185 **Tipo di agitatore:** con elica, 8.800 rpm **Tempo di digestione:** 60 min

Formulazione

A seconda del contenuto di aromatici del bitume di base, sono necessarie prove di laboratorio preliminari per determinare esattamente il dosaggio ideale.

Movimentazione e stoccaggio

Il prodotto può sedimentare. È necessario l'utilizzo di serbatoi dotati di agitatore.

I risultati dell'analisi vengono sintetizzati nella tabella a seguire:

	Bitume di base	Contenuto di Gomma (1) (%)	Contenuto di Polimero (2) (%)	T°(°C) miscelaz	Grado di agitazione (3)	Tempo di digestione (min)
BC 35/50	B 50/70	10	-	185	Medio	60
BC 50/70	B 70/100	10	-	185	Medio	60
PMB 45/80-60C	B 110/120	4 - 5	2,5 - 3	185	Alto	60
PMB 45/80-65C	B 110/120	4 - 5	3 – 4	185	Alto	60
BMAVC-1	B 35/50	22	-	195	Medio	60
BMAVC-1b	B 50/70	22	-	195	Medio	60
BMAVC-3	B110/120	4 - 5	3,5 – 4,5	185	Alto	60

(1) Sul peso del bitume di base
(2) Sul peso del bitume di base
(3) Viene considerato di livello medio l'agitatore a pale o vortice. Per raggiungere il grado Alto, si raccomanda l'utilizzo di un dispositivo con elevato potere di taglio.

Tabella 8. Formulazioni raccomandate per bitume gommati

Apparecchiature di laboratorio per la produzione di bitumi gommati

ALLEGATO 11

Esistono diversi macchinari e apparecchiature per la fabbricazione di bitumi modificati in laboratorio, da miscelatori molto semplici fino a impianti pilota più sofisticati che includono il controllo computerizzato dei principali parametri di produzione.

Il presente allegato fornisce delle indicazioni generali e descrive alcune apparecchiature abitualmente utilizzate per la produzione di bitumi con gomma.

Tipi di miscelatore

Per la modifica di bitumi con gomma, è possibile utilizzare due tipi di miscelatore:

- quelli che sottopongono i componenti ad un processo di agitazione, sia esso più o meno vigoroso
- quelli ad elevato potere di taglio (high shear) che oltre a miscelare i componenti, tagliano le particelle di gomma riducendone la dimensione

Poiché esistono numerosi produttori e apparecchiature, il confine tra un tipo e l'altro non è sempre evidente. In linea generale, gli agitatori sono simili ad eliche di varie forme e dimensioni che muovono in modo continuo la miscela di bitume e gomma migliorandone l'interazione e prevenendo la decantazione. Questi dispositivi hanno velocità di rotazione tipicamente nell'ordine dei 1.000 rpm.

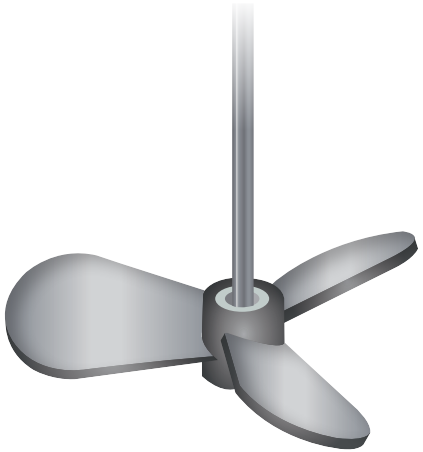


Figura 7. Testina di un miscelatore ad elica

I miscelatori ad elevato potere di taglio sono solitamente provvisti di un componente mobile (rotore) che è posizionato ad una distanza minima da un componente fisso (statore) provocando con la rotazione un effetto di aspirazione che costringe la miscela di bitume e gomma a passare tra i due componenti. Questo processo produce un effetto di taglio

molto intenso che contribuisce a ridurre le dimensioni delle particelle di gomma aumentandone la superficie specifica, e favorendone l'interazione con il bitume.

La figura successiva mostra la testa di un miscelatore ad elevato potere di taglio e le fasi alle quali l'apparato sottopone i componenti della miscela.

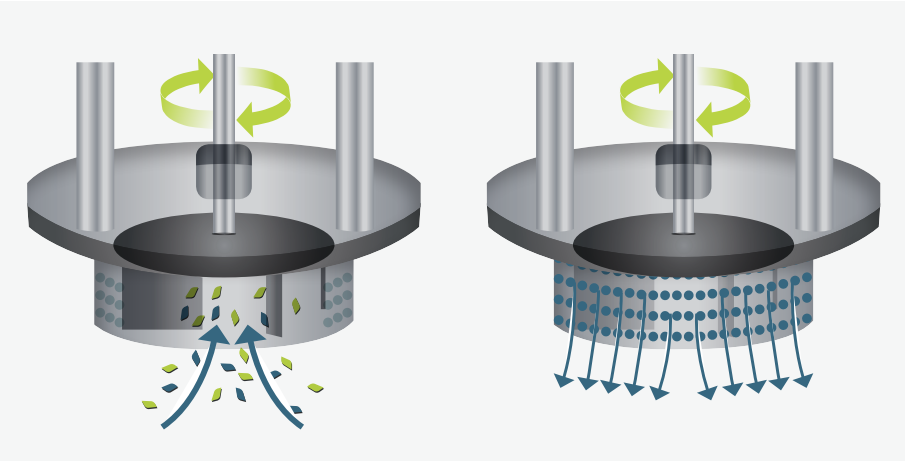


Figura 8. Testina di un miscelatore ad elevato potere di taglio

Esistono svariati modelli di miscelatori che in funzione della forma della testina e della velocità di rotazione selezionata, possono fungere unicamente da miscelatori o conferire un elevato potere di taglio. Ad esempio, quando un miscelatore ad elica viene utilizzato in un *range* di velocità di rotazione compreso tra 1.000 e 10.000 rpm, viene generato un effetto dinamico in grado di tagliare le particelle.

A seguire vengono presentate tre apparecchiature diverse che possono essere utilizzate in laboratorio per produrre bitumi gommati.

1. Miscelatori con elica ad alta velocità

Si tratta di dispositivi semplici che operano unicamente un'agitazione continua della miscela di bitume e gomma. Aumentando la velocità di rotazione di alcuni di questi dispositivi, si ottiene una forte energia di miscelazione che va oltre la semplice agitazione. È il caso degli apparati dotati di motore che raggiunge velocità di rotazione fino a 10.000 rpm, come quello illustrato nella *Figura 9*.

Figura 9. Miscelatore di laboratorio con velocità di rotazione da 500 a 10.000 rpm

La produzione di bitume gommato con questi dispositivi avviene in modo discontinuo (batches), introducendo l'agitatore in un recipiente metallico termostatato in un bagno termostatico ad olio. La ***Figura 10*** ne illustra l'assetto.

Figura 10. Assetto di un'apparecchiatura base di laboratorio per la produzione di bitumi gommati

È molto importante minimizzare il contatto del campione di bitume con l'aria per ridurre l'ossidazione del legante durante la produzione. E' possibile ad esempio utilizzare un tappo perforato che consenta di introdurre la testina del miscelatore e mantenere tappato il contenitore nel corso dei 60 minuti circa richiesti per la miscelazione.

Durante le prove di laboratorio è necessario impostare la temperatura più idonea attraverso il termostato del bagno ad olio e la velocità di rotazione del miscelatore mediante il selettore di cui è provvisto il motore.

La produzione di bitume gommato avviene in due fasi: la prima ad alta velocità (3.000-10.000 rpm) per ottenere una miscelazione molto vigorosa, seguita da una seconda fase di digestione in cui l'apparato può operare a bassa velocità (500-1.000 rpm) per evitare la sedimentazione e favorire l'interazione del bitume e della gomma. La prima fase dura circa 15 minuti e la seconda circa 45 minuti.

Con la stessa apparecchiatura di laboratorio è possibile anche lavorare ad alta velocità nel corso dei 60 minuti. Ad ogni modo, lo scopo del set-up qui descritto è quello di riprodurre in laboratorio le condizioni più simili a quelle ottenibili nell'impianto industriale.

Solitamente la miscela viene realizzata in recipienti metallici da 1 litro per la produzione di campioni di bitumi gommati non superiori ai 650g. E' consigliato non superare tale quantità per evitare la fuoriuscita di legante durante le fasi di agitazione e movimentazione. La produzione di campioni di dimensioni molto piccole è sconsigliata in quanto la testina del miscelatore potrebbe non venire coperta dal legante e non svolgere dunque la propria funzione.

Occorre sempre accertare visivamente che all'interno del contenitore non rimangano delle "zone morte", ossia non sufficientemente agitate e che potrebbero ricevere una minore energia di agitazione rispetto alla parte restante del campione.

2. Miscelatori di laboratorio ad elevato potere di taglio

Si tratta di miscelatori con una testina dotata di un sistema rotore/statore. La produzione del bitume gommato avviene in modo analogo a quanto descritto al punto precedente, fatta eccezione per il fatto che le particelle vengono sottoposte ad un taglio più efficace. La ***Figura 11*** illustra un apparato di questo tipo e il dettaglio della sua testina:

Figura 11. Miscelatore di laboratorio ad elevato potere di taglio

Come nel caso precedente, la produzione dei campioni di bitume gommato deve avvenire in contenitori metallici immersi in bagno termostatico ad olio. Con questo tipo di miscelatori è possibile regolare la velocità di rotazione fino a 8.000 rpm.

Queste apparecchiature possono produrre il legante in un'unica fase ad alta velocità (4.000- 8.000 rpm) oppure in due fasi, la prima ad alta velocità e la seconda a velocità inferiore (500-1.000 rpm). La decisione di operare in una o due fasi dipenderà dalla configurazione dell'impianto industriale. In entrambi i casi, il campione deve essere mantenuto sotto agitazione e ad alta temperatura per un totale di 60 minuti che assicurano il completamento del processo di digestione.

Anche con questo tipo di apparecchiature occorre minimizzare il contatto del bitume caldo con l'aria per ridurne al minimo l'ossidazione durante la produzione. E' consigliata la produzione di campioni da 650 g in contenitori metallici da 1 litro.

3. Impianto pilota di produzione di bitumi gommati

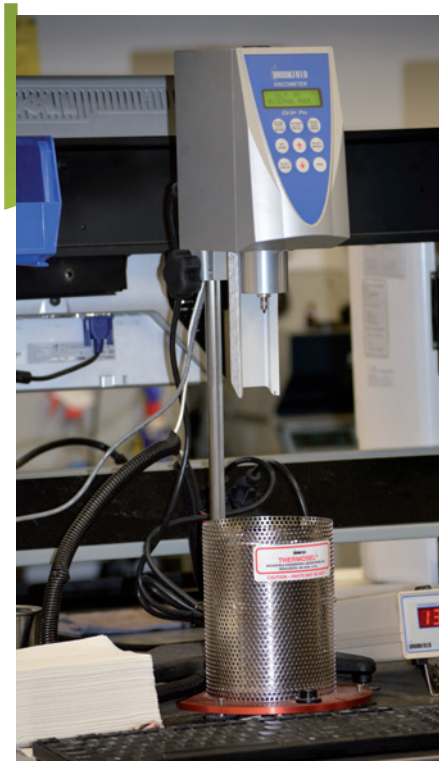
Esistono impianti pilota di laboratorio idonei alla produzione di bitumi gommati che utilizzano mulini ad elevato potere di taglio. Per garantire l'idonea interazione tra gomma e bitume, questi miscelatori utilizzano spesso una linea di ricircolo che alimenta un secondo serbatoio. La figura seguente presenta uno di questi modelli che prevede la combinazione di una linea di ricircolo e di un mulino ad elevato potere di taglio nel quale entra ripetutamente il legante contenuto nel serbatoio superiore, che a sua volta è mantenuto in costante agitazione con un miscelatore ad elica.

Figura 12. Impianto pilota per la produzione di bitume gommato

Il vantaggio principale di questi dispositivi è l'elevata tecnicizzazione e il controllo diretto dei parametri più importanti di produzione. Solitamente, richiedono un sistema di riscaldamento esterno per mantenere tutto l'apparato alla temperatura idonea attraverso la camicia termica che ne riveste gli elementi principali.

Ulteriore vantaggio di questo tipo di sistemi è il ridotto contatto del campione con l'aria, benché sia necessario adottare per il serbatoio superiore le stesse precauzioni illustrate ai punti precedenti.

Tra gli inconvenienti, occorre sottolineare che la pulizia periodica dell'apparecchiatura possa essere più difficoltosa rispetto ai casi 1 e 2. Infatti, per evitare l'ostruzione dell'apparecchiatura, occorre garantire il corretto svuotamento e l'idonea pulizia delle tubazioni che sono invece assenti nei sistemi precedentemente illustrati. Inoltre, il prezzo di quest'ultima alternativa è molto più alto rispetto quello delle prime due apparecchiature descritte.



Raccomandazioni sull'apparecchiatura da utilizzare in laboratorio

Non è facile dispensare consigli pratici sull'apparecchiatura da utilizzare il laboratorio; tuttavia, è possibile fornire alcune linee guida da tenere in considerazione nel momento in cui è necessario prendere una decisione al riguardo:

1. Per una maggiore replicabilità dei processi industriali, l'apparecchiatura di laboratorio dovrebbe avere un principio di funzionamento (discontinua o in linea; normale o ad elevato potere di taglio) analogo alle apparecchiature industriali che verranno utilizzate.

2. Nella maggior parte dei bitumi gommati, è solitamente sufficiente un miscelatore ad elica, purché concepito per funzionare a velocità medio-alte, ossia superiori ai 3.000 rpm.

3. Quando vengono utilizzati polimeri assieme alla gomma, è consigliato utilizzare dispositivi ad elevato potere di taglio o perlomeno miscelatori ad elica in grado di funzionare ad elevate velocità di rotazione, superiori a 8.000 rpm.

4. La scelta del dispositivo deve anche basarsi sull'intensità d'uso prevista: per usi moderati, possono essere sufficienti le apparecchiature illustrate nelle alternative 1 e 2. Il prezzo è orientativamente quattro volte inferiore a quello di un impianto pilota e la pulizia è decisamente più semplice.

Apparecchiature per la produzione su scala industriale di bitumi gommati

ALLEGATO 2

Le apparecchiature industriali per la produzione di bitumi gommati devono avere due unità ben definite: il miscelatore e il serbatoio di digestione. Nel primo si ottiene la miscelazione tra bitume e gomma, nonché la riduzione delle dimensioni delle particelle di gomma qualora il miscelatore sia un mulino ad elevato potere di taglio (high shear). Nel serbatoio di digestione viene completata l'interazione a caldo tra le particelle di gomma e il bitume; il serbatoio deve essere provvisto di un sistema di agitazione.

Da questa struttura di base possono nascere diverse configurazioni in funzione delle necessità produttive; è possibile quindi utilizzare semplici miscelatori o mulini ad alto potere di taglio, prevedere la separazione del miscelatore dal digestore o raggruppare invece le due funzioni nello stesso serbatoio. E' possibile infine prevedere l'uso opzionale di serbatoi aggiuntivi di stoccaggio, per poter disporre in cantiere di una maggiore flessibilità di alimentazione del bitume gommato.

In questa appendice vengono illustrati i più comuni tipi di miscelatori presenti sul mercato e le varie configurazioni di un'unità di produzione con il relativo schema di inserimento all'impianto di produzione asfalti.

Miscelatore a pale

Per bitumi con bassi contenuti di gomma, al di sotto del 10%, possono essere sufficienti miscelatori a pale o del tipo a coclea che mantengono agitato (< 1.000 rpm) il bitume con gomma in sospensione il tempo necessario per ottenere la digestione; in tale configurazione il serbatoio-digestore funge anche da miscelatore. Con impianti così semplici è necessario utilizzare polverini di gomma fini (< 0,5 mm) e prevedere tempi di produzione superiori a 60 minuti per garantire la digestione che sarebbe raggiunta in tempi più rapidi con sistemi di miscelazione più efficienti.

Questo sistema è totalmente privo di taglio e si trova solamente in dispositivi di ridotta capacità produttiva. Il suo uso non è raccomandato, sia per la scarsa energia di agitazione sia per la bassa produzione. Un esempio di albero a pale viene illustrato nella *figura 13.*

Figura 13. Miscelatore a pale

Miscelatori con girante Cowles

Questo tipo di miscelatori, grazie alla geometria della girante e alla velocità di rotazione (> 3.000 rpm), produce un'elevata energia di miscelazione generando anche un discreto potere di taglio. La *figura 14* illustra un girante di tipo Cowles e la sua posizione all'interno di un miscelatore di bitume.

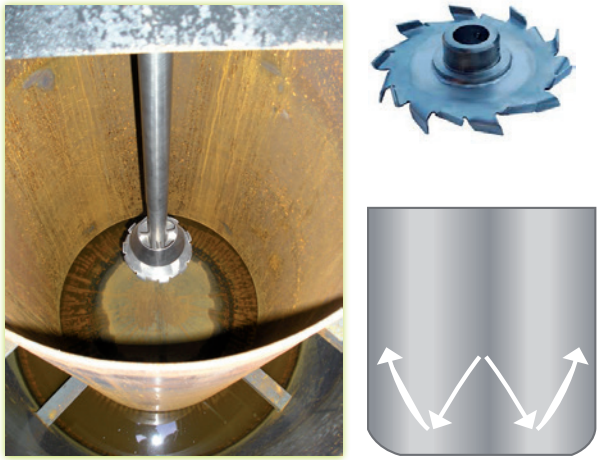


Figura 14. Miscelatore con girante Cowles

> **"L'utilizzo dei miscelatori con girante Cowles è molto diffuso grazie all'elevata capacità produttiva e la semplice manutenzione."**

Questo tipo di miscelatore produce un vortice che obbliga la miscela di bitume e gomma a passare ripetutamente per la girante Cowles, permettendo quindi la graduale riduzione dimensionale delle particelle di gomma e la progressiva omogeneizzazione della miscela.

Questo tipo di giranti può essere installato sia nei miscelatori che in serbatoi aventi la duplice funzione di miscelatori e digestori. La produzione oraria è elevata e la manutenzione semplice. L'utilizzo è ampiamente diffuso nella produzione di bitumi gommati.

Miscelatori con mulino ad alto potere di taglio (high shear)

Si tratta senza dubbio dei miscelatori più evoluti, che sottopongono la miscela di bitume e gomma ad un elevato sforzo grazie all'alta velocità di taglio. Tra la parte fissa e quella mobile, vi è un piccolo gioco (gap) attraverso il quale circola la miscela.

Le palette del mulino frantumano le particelle di gomma fino a ridurle a dimensioni inferiori al "gioco" tra rotore e statore. Questo tipo di miscelatori conosciuti anche con il nome di Polymill o "mulini colloidali", lavora unicamente in linea, facendo spesso ricircolare più volte il bitume gommato del serbatoio che, a sua volta, è dotato di un agitatore a pale. È possibile osservare un'immagine di questo tipo di miscelatore alla *figura 15*.

I miscelatori costituiscono il cuore degli impianti di produzione dei bitumi gommati che, nella loro globalità, possono assumere diverse configurazioni.

Configurazioni più comuni degli impianti di produzione dei bitumi gommati

Sono di seguito riportati alcuni dei casi-studio più frequenti.

Figura 15. Mulino ad elevato potere di taglio (high shear)

Configurazione 1. Miscelatore di volume ridotto e serbatoio di digestione

In questo caso, le due fasi di produzione sono separate: la prima miscelazione vigorosa avviene in un miscelatore generalmente dotato di girante Cowles; la miscela così ottenuta viene trasferita in un serbatoio-digestore di maggiori dimensioni e munito di agitatore a pale o a coclea dove viene mantenuta in agitazione fino al raggiungimento dei 60 minuti necessari alla completa digestione.

L'impianto comprende inoltre le tramogge per lo stoccaggio ed il dosaggio della gomma e degli eventuali polimeri e/o additivi, nonché delle pompe volumetriche per il trasferimento del bitume. Nel caso di apparecchiature mobili è sempre prevista una caldaia che garantisce l'autonomia termica dall'impianto di produzione dei conglomerati bituminosi.

La *figura 16* illustra un'apparecchiatura di tipo mobile che può essere temporaneamente collegata all'impianto di produzione-asfalti per produrre e dosare il bitume gommato ed essere quindi rimossa una volta terminato il cantiere. In altri casi, apparecchiature con configurazioni identiche sono installate e collegate permanentemente all'impianto di produzione dei conglomerati bituminosi.

Figura 16. Unità di produzione con miscelatore e serbatoio digestore

Questo tipo di apparecchiatura preleva bitume di base dai serbatoi di stoccaggio dell'impianto di produzione asfalti, lo miscela con la gomma e lo trasferisce quindi al mescolatore del conglomerato in base alla richiesta gestita dal quadro di controllo della centrale. Nella ***figura 17*** viene riportato uno schema di impianto che mostra come l'istallazione di un'apparecchiatura di questo tipo non influisca sui dispositivi dell'impianto di produzione dei conglomerati.

La gomma viene solitamente fornita in big-bag da 1 tonnellata circa (2 m^3) che vengono scaricati nella tramoggia dell'unità di miscelazione per essere poi dosati al miscelatore ***(figura 18)***. Presso le installazioni fisse, è anche possibile fornire la gomma sfusa e stoccarla in silos verticali dotati di dosatore.

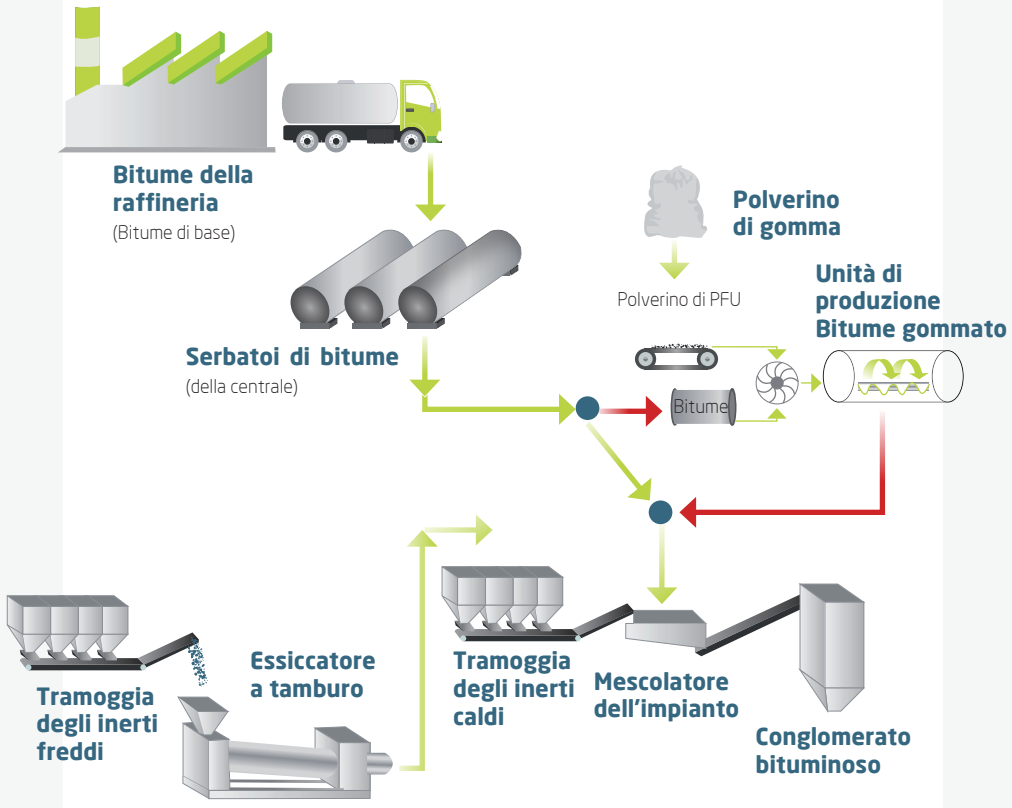


Figura 17. Inserimento dell'unità in un impianto di asfalti

Figura 18. Dettaglio del carico di gomma nelle tramogge dell'unità

La produzione oraria (t/h) di queste apparecchiature coincide con la capacità del digestore. Se si dispone di un serbatoio di digestione da 15 tonnellate, tale sarà la produzione oraria di bitume gommato dell'apparecchiatura (ossia 15 t/h).

Configurazione 2. Serbatoi gemelli miscelatori e digestori

In questo caso, la miscelazione e la digestione avvengono nel serbatoio stesso, ma per ottenere una maggiore operatività e produzione oraria, lo schema viene raddoppiato data l'esistenza di due serbatoi gemelli affinché, mentre uno alimenta il bitume che ha già completato i 60 minuti di digestione, il secondo serbatoio produce una nuova amalgama, in modo che, alternativamente, uno dei due serbatoi produce e l'altro fornisce il bitume alla centrale di produzione dei conglomerati bituminosi. Al riguardo, uno schema è riportato alla ***figura 19 e alla figura 6 della presente guida***.

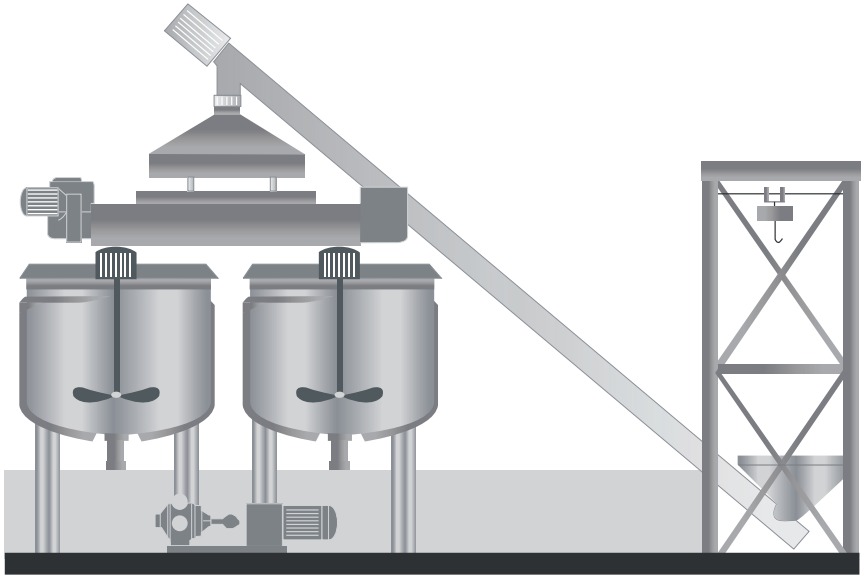


Figura 19. Schema di un'unità di serbatoi gemelli

I serbatoi sono solitamente dotati di giranti Cowles e in alcuni casi di un albero a pale supplementare.

Analogamente alla configurazione 1, questo tipo di apparecchiature può essere fisso o mobile e anche il collegamento all'impianto di produzione dei conglomerati è simile. La capacità oraria (t/h) è solitamente attorno al 150% della capacità di un serbatoio e dipende prevalentemente dalla sua velocità di riempimento oltre che da altri aspetti progettuali del ciclo produttivo.

Configurazione 3. Apparecchiature con singolo serbatoio e mulino ad alto taglio (Polymill) nel condotto di ricircolo

Questo schema, proprio degli impianti tradizionali di modifica di bitumi con polimeri, consiste in un serbatoio in cui vengono inseriti bitume e gomma e mantenuti in costante agitazione mediante un albero a pale. Il contenuto del serbatoio viene fatto circolare attraverso un condotto in cui è stato inserito un mulino ad alto potere di taglio. Il ricircolo prosegue fino a quando il prodotto non avrà raggiunto l'omogeneità desiderata, momento in cui potrà essere trasferito per iniziare quindi un nuovo ciclo di produzione.

L'apparecchiatura viene mostrata in *figura 5* della presente Guida, dove si osserva il modo in cui il miscelatore viene inserito nella linea di ricircolo.

Questa configurazione è tipica di impianti fissi. La produzione oraria corrisponde approssimativamente alla capacità del serbatoio: per garantire la corretta digestione del bitume gommato, ogni batch di produzione deve garantire la miscelazione dei due componenti per circa 60 minuti. Ciononostante, la produzione oraria può essere incrementata (riducendo i tempi di miscelazione) qualora il prodotto sia trasportato con autobotte fino all'impianto di produzione dei conglomerati in cui deve essere consumato; in questo caso, il tempo di trasporto corrisponde a quello necessario per completare la digestione.

Requisiti minimi di un'unità di produzione di bitume gommati

Per garantire la qualità ed omogeneità dei bitumi gommati, è fondamentale che l'unità di produzione degli stessi permetta di dosare gli ingredienti, miscelarli opportunamente e consenta il frequente controllo di qualità. Si ritiene quindi che un impianto di produzione di bitumi gommati debba essere provvisto almeno dei seguenti elementi:

- Dispositivi di dosaggio ponderale per la gomma e il polimero.
- Dispositivi di dosaggio ponderale/volumetrico per il bitume.
- Termometro nei seguenti punti:
  - » Entrata del bitume di base
  - » Interno del miscelatore
  - » Interno del serbatoio digestore, se diverso dal miscelatore
  - » Uscita del bitume gommato verso l'impianto-asfalti
- Viscosimetro nei seguenti punti:
  - » Serbatoio digestore
  - » Uscita del bitume gommato (esistono viscosimetri in linea)
- Valvole per il prelievo di campioni all'uscita del digestore

Serbatoi aggiuntivi di stoccaggio

Benché qualsiasi unità di produzione di bitumi gommati debba garantire il raggiungimento del tempo minimo di digestione (circa 60 minuti) corrispondente al tempo di miscelazione più quello di digestione, può essere utile poter disporre di serbatoi aggiuntivi per lo stoccaggio del bitume gommato precedentemente prodotto. Tali serbatoi non devono essere confusi con il serbatoio di digestione dell'impianto di miscelazione.

Laddove si disponga di serbatoi aggiuntivi, l'unità di produzione di bitume gommato trasferisce il prodotto al serbatoio di stoccaggio anziché direttamente alle bilance dell'impianto di produzione dei conglomerati bituminosi.

L'uso di serbatoi aggiuntivi garantisce una maggiore flessibilità e capacità di alimentazione dell'impianto-asfalti. Qualora sopravvengano imprevisti di cantiere o disfunzioni di qualsiasi tipo all'impianto di miscelazione del bitume gommato, l'uso di serbatoi di stoccaggio permette di intervenire con maggiore agio nella risoluzione dei problemi.

I serbatoi di stoccaggio aggiuntivi devono essere dotati di un sistema di riscaldamento che consenta di mantenere la temperatura del prodotto per ore o giorni e di un agitatore (o ricircolo) che prevenga la sedimentazione.

Figura 20. Serbatoi aggiuntivi di stoccaggio

Scelta dell'unità di produzione di bitume gommato

Per la scelta dell'apparecchiatura più idonea alle necessità dell'impianto di produzione asfalti, occorre considerare i seguenti criteri di base:

- Il miscelatore a pale eroga poca energia di miscelazione ed è quindi idoneo all'uso come agitatore, per mantenere in movimento il prodotto durante la digestione. Le apparecchiature dotate solamente di questo dispositivo di miscelazione sono totalmente inadatte laddove si desideri utilizzare il polimero insieme alla gomma.

- Le apparecchiature dotate di un miscelatore e un digestore o quelle con due serbatoi miscelatori/digestori gemelli, sono quelle maggiormente impiegate per la produzione di bitumi gommati. Possono essere consigliate indistintamente e consentono la produzione sia di bitumi gommati che di quelli modificati con polimeri. Sono idonee nella maggior parte dei casi ma qualora si preveda l'uso combinato di gomma e polimeri, è opportuno effettuare delle prove preliminari per determinare se l'uso del polimero in pellet sia possibile o sia invece necessario utilizzarlo solo in polvere.

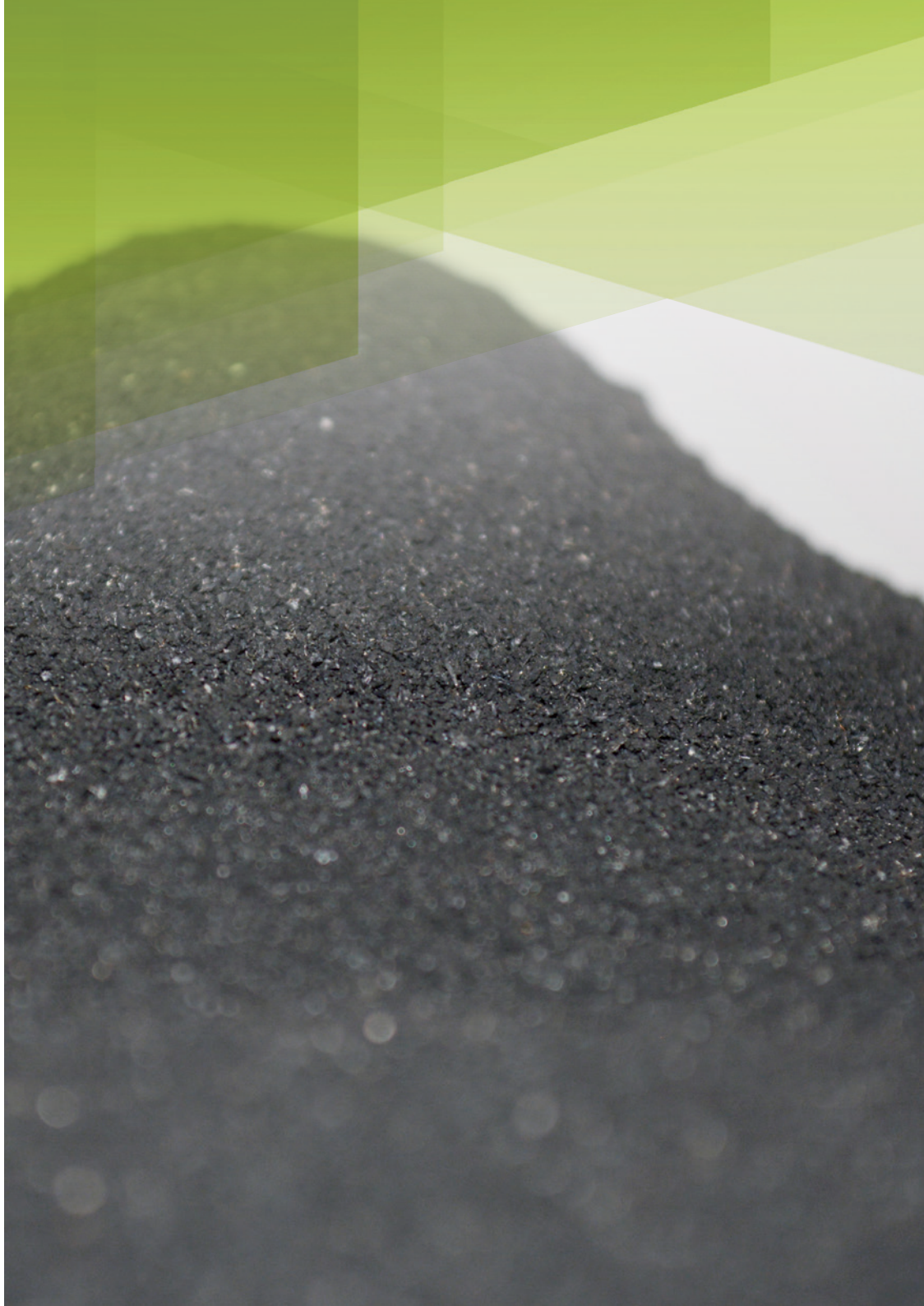
- Le apparecchiature dotate di mulino ad alto taglio sono certamente quelle tecnologicamente più evolute. Garantiscono una grande omogeneità, poiché sono in grado di fare circolare il prodotto un numero di volte sufficiente a ridurre le dimensioni delle particelle di gomma. Con questo tipo di impianti è possibile utilizzare i polimeri (con o senza gomma) sotto forma di pellet o granuli.

- In ciascuno dei casi precedenti, occorre valutare:

  » La produzione oraria dell'apparecchiatura, per non limitare quella dell'impianto di produzione asfalti.

  » La necessità o meno di alimentare l'impianto con olio diatermico o energia elettrica dall'impianto di produzione asfalti (soluzione indipendente, semi-indipendente o fissa)

  » Lo spazio che occupa presso l'impianto di produzione dei conglomerati e il modo in cui può influire il suo inserimento nel funzionamento dell'impianto: carico e scarico dei camion che trasportano i conglomerati bituminosi, operazioni di scarico del bitume di base e trasferimento all'unità, trasferimento agli eventuali serbatoi di stoccaggio dei bitumi gommati e/o alle bilance del mescolatore, ecc.



SIGNUS

SISTEMA INTEGRATO PER LA GESTIONE DEI PNEUMATICI USATI

SIGNUS Ecovalor, S.L.

C/ Caleruega, 102, 5ª
28033 Madrid
T: +34 91 768 07 66
info@signus.es

www.signus.es

Seguici su:

Infine, ringraziamo le società BONDERALIA MONTOIL, IKA, SILVERSON e TECNIDOS SISTEMI e PROCESSI per l'autorizzazione all'utilizzo di fotografie delle apparecchiature contenute in questa guida.

Finally we want to thanks BONDERALIA MONTOIL, IKA, SILVERSON and TECNIDOS SISTEMAS Y PROCESOS, for the permission of the use of some equipment´s pictures for the purpose of this guideline.

Progetto grafico: *Peja Design;*
Stampa: *TMB Stampa Roma.*
Finito di stampare nel mese di gennaio 2015

Ecopneus Scpa
Via Messina, 38 Torre B
20154 Milano

Tel.: +39 02.92.970.1
Fax.: +39 02.92.970.299

E-mail: info@ecopneus.it
Web: www.ecopneus.it