

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

TESI DI LAUREA IN
INGEGNERIA DEI PROCESSI INDUSTRIALI E DEI MATERIALI
(Laurea triennale DM 270/04 – indirizzo Processi Industriali)

**ANALISI DI UN PROCESSO PRODUTTIVO
DI UNA MESCOLA BITUME-POLIMERO SBS
IN GRANULO MEDIANTE RICICLO
IN UN RAFFINATORE**

Relatore: Prof. Fabrizio Bezzo

Correlatori: Ing. Franco Bevilacqua, Dott. Luciano Vacilotto

Laureando: MARCO BERNARDINI

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

Riassunto

Il lavoro di Tesi ha come obiettivo l'analisi di un processo produttivo alternativo per membrane bitume-polimero. Il normale processo di produzione è stato modificato inserendo un riciclo passante in un raffinatore nel tentativo di poter realizzare delle mescole bitume-polimero utilizzando come materia prima il polimero sbs in granulo al posto di sbs in polvere. È stato analizzato il funzionamento del raffinatore a diverse concentrazioni in miscela di sbs in granulo valutando consumi e tempi di lavorazione. Infine, sono state analizzate le caratteristiche delle mescole così ottenute.

Dai dati raccolti, risulta preferibile dal punto di vista economico l'utilizzo di sbs in granulo attraverso il riciclo nel raffinatore piuttosto che l'utilizzo di sbs in polvere attraverso il consueto processo di produzione. Dal punto di vista qualitativo non sono emerse differenze rilevanti.

Si ringrazia l'azienda Novaglass S.p.A. per aver reso possibile questo tirocinio, definendo gli obiettivi tecnici e mettendo a disposizione le risorse necessarie per raggiungerli. In particolar modo, si ringraziano l'Ing. Franco Bevilacqua e il Dott. Luciano Vacilotto, per l'attenta supervisione e per aver condiviso la loro competenza tecnica ed esperienza.

Sommario

INTRODUZIONE.....	7
PRIMA PARTE – Caratteristiche di una membrana impermeabilizzante e il sistema Produttivo della Novaglass S.p.A.	9
1.1 L' AZIENDA NOVAGLASS S.p.A.....	9
1.2 LA MEMBRANA IMPERMEABILIZZANTE.....	10
1.2.1 La massa impermeabilizzante.....	10
1.2.2 L'armatura.....	12
1.3 IL PROCESSO PRODUTTIVO.....	12
1.3.1 La sezione discontinua.....	14
1.3.2 La sezione continua.....	15
1.3.3 La modifica dell'impianto.....	16
1.3.3.1 Il raffinatore.....	18
1.3.2.1.1 Il raffinatore K40.....	21
1.4 CONSIDERAZIONI.....	21
SECONDA PARTE – Raccolta ed elaborazione dei dati	25
2.1 DESCRIZIONE DELL'ESPERIENZA.....	25
2.1.1 Considerazioni iniziali.....	25
2.1.2 Condizioni operative.....	26
2.1.2.1 Mescola al 16% iniziale di sbs in granulo.....	27
2.1.2.2 Mescola al 14% iniziale di sbs in granulo.....	28
2.1.2.3 Mescola al 12% iniziale di sbs in granulo.....	29
2.1.2.4 Mescola all'8% iniziale di sbs in granulo.....	30
2.1.2.5 Confronto dei profili di assorbimento del raffinatore.....	31
2.1.2.6 Confronto dei profili di velocità del raffinatore.....	32
2.1.2.7 Considerazioni sulla dipendenza del raffinatore dalla concentrazione di sbs	

in granulo.....	33
2.1.3 Analisi di laboratorio sulla qualità della miscela.....	34
2.1.3.1 Durezza a 25°C, 60°C e 80°C.....	34
2.1.3.2 Penetrazione a 25°C e 60°C.....	35
2.1.3.3 Viscosità a 180°C.....	36
2.1.3.4 Confronto tra mescole con sbs in granulo e polvere.....	36
2.1.4 Fattibilità del processo produttivo con riciclo nel raffinatore.....	37
2.1.5 Analisi dei costi.....	39
CONCLUSIONI.....	41
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	43

Introduzione

In questa Tesi si studia il processo di produzione di una miscela bitume-polimero sbs in granulo mediante l'utilizzo di un miscelatore primario con un riciclo passante per un raffinatore. La miscela così prodotta è impiegata nella produzione di membrane impermeabilizzanti.

Lo studio si dividerà in due parti:

- Studio delle caratteristiche di una membrana impermeabilizzante bitume polimero e del sistema produttivo della Novaglass S.p.A.
- Elaborazione dei dati raccolti relativi al nuovo impianto realizzato per verificarne la funzionalità.

L'obiettivo della Tesi è quello di analizzare il processo produttivo di una miscela sbs in granulo nel mescolatore *Primario 1* passante per il raffinatore K40, verificando l'effettiva possibilità di soppiantare il polimero sbs in polvere con quello in granulo. Per far ciò verrà analizzata una miscela che secondo la nomenclatura aziendale è indicata come SBS/EC.

Per ottimizzare il processo e per verificare il comportamento del raffinatore verranno eseguite 4 prove con miscela SBS/EC con diverse concentrazioni iniziali di sbs in granulo. Per ogni prova eseguita saranno effettuate le analisi di durezza, penetrazione e viscosità sui campioni di miscela completa prodotta: i risultati ottenuti saranno comparati alla stessa miscela ottenuta mediante il processo standard (senza l'utilizzo del riciclo passante per il raffinatore) con sbs in polvere, per verificare se vi sono differenze nella qualità finale.

Infine, verranno confrontati i costi per la produzione della miscela SBS/EC con sbs in polvere mediante mescolatore *Primario 1* e della miscela SBS/EC con sbs in granulo mediante mescolatore *Primario 1* con riciclo nel raffinatore K40 e l'eventuale periodo di ammortamento del raffinatore.

Parte I

Caratteristiche di una membrana impermeabilizzante e il sistema produttivo della Novaglass S.p.A.

1.1 L'azienda Novaglass S.p.A.

L'azienda Novaglass S.p.A. (Figura 1.1), nata nel 1983, si distingue oggi nel panorama nazionale ed estero come leader nel settore della produzione di membrane impermeabilizzanti bitume-polimero.

L'attività produttiva è strutturata su un'area coperta di 11.000 mq inserita in un parco verde di 100.000 mq. All'interno dello stabilimento troviamo due linee di produzione di moderna concezione ed un laboratorio attrezzato con apparecchiature e strumentazioni tecnologicamente avanzate, gestite da collaboratori altamente qualificati. Inoltre, il continuo investimento sul controllo delle materie prime, sui prodotti, sulla produzione, sull'ottimizzazione dei processi e sull'attività di ricerca e sviluppo hanno portato l'azienda ad ottenere nel 1996 la certificazione ISO 9001, come certificazione del sistema qualità. Questo percorso la rende oggi un'azienda affidabile, dinamica e capace di affrontare le nuove sfide del settore, preparandosi ad entrare nel mercato dell'energia rinnovabile con la sua nuova gamma di prodotti.



Figura 1.1. Vista dell'azienda Novaglass S.p.A.

- le mescole impermeabilizzanti plastomeriche;
- le mescole impermeabilizzanti elastomeriche.

Per ottenere una mescola con caratteristiche plastomeriche si inserisce come principale polimero modificante il polipropilene isotattico (IPP). In questo modo la mescola presenta un ampio intervallo di plasticità, un buon comportamento con alte e basse temperature, una sufficiente stabilità termodinamica e una spiccata inerzia verso gli UV, l'O₃, l'O₂ e gli agenti atmosferici. Inoltre tale polimero è pressoché insensibile all'azione degli alcoli, delle soluzioni acide e basiche e degli agenti riducenti. A temperature medio-basse esso è insolubile in solventi polari, mentre è solubile in solventi apolari ed è aggredibile da alogeni liberi e da agenti fortemente ossidanti. Le mescole elastomeriche invece si ottengono inserendo come polimero modificante principale la gomma termoplastica stirene-butadiene-stirene (sbs). Rispetto alle masse plastomeriche, queste presentano una più facile invecchiabilità per azione degli agenti atmosferici, migliore stabilità termodinamica dovuta alla maggiore compatibilità tra bitume e polimero, un intervallo di plasticità leggermente inferiore, con minore resistenza alle alte temperature, e migliore flessibilità a freddo. Presentano inoltre un ottimale comportamento reologico alle temperature di processo e proprietà elastiche più significative alle condizioni di esercizio. Esistono inoltre mescole “ibride” in cui sono presenti sia polipropilene isotattico che stirene-butadiene-stirene, che vengono chiamate plasto-elastomeriche. Il comportamento della mescola è molto suscettibile alle quantità dei polimeri inseriti, ossia una percentuale superiore di IPP rispetto alla quantità di sbs conferisce un comportamento plastomerico, mentre un eccesso di sbs conferisce un comportamento essenzialmente elastomerico. Le miscele “ibride” vengono ricreate quindi per particolari casi in cui si vogliono coniugare caratteristiche delle une e delle altre. I manti elastomerici si presentano meno rigidi di quelli plastomerici ed hanno una grande propensione alla saldabilità; vi è quindi una maggior affidabilità delle giunzioni e a basse temperature resistono senza fessurare mantenendo essenzialmente la protezione all'acqua. I manti plastomerici più rigidi, invece, trovano maggior impiego in situazioni dove devono resistere all'eccessivo calore e agli agenti atmosferici. Per questo motivo essi durano di più nel tempo ma presentano una minore saldabilità e rischiano di staccarsi dal manufatto se non accuratamente applicate. Un altro elemento fondamentale delle masse impermeabilizzanti sono i riempitivi: il loro utilizzo si rende necessario a causa del costo sempre più elevato dei prodotti derivanti dal petrolio come il bitume e i polimeri; in tal modo si cercano di coniugare qualità e basso costo. Come riempitivi vengono utilizzati minerali quali il carbonato di calcio e scarti di gomma vulcanizzata: entrambi i materiali portano ad avere una mescola più viscosa e rigida, con maggiori qualità meccaniche ad elevate temperature ma con più difficoltà di applicazione e problemi di fessurazione alle basse temperature. Per questo motivo non si superano mai

percentuali del 50% in quantità. Poichè ognuna delle tipologie offre differenti vantaggi e svantaggi, non c'è famiglia che primeggi sull'altra.

Entrambi i tipi di membrana, comunque, sono riusciti ad affermarsi dimostrando di soddisfare le diverse richieste del settore.

1.2.2 L'armatura

Le armature sono strutture piane generalmente costituite da filamenti o fibre, compattati per azione meccanica, termica o chimica.

Esse possono essere:

- tessuti in cui la struttura presenta una trama;
- non tessuti in cui la struttura presenta una distribuzione casuale delle fibre.

Solitamente vengono utilizzati materiali da riciclo come poliestere o velovetro. Possono essere presenti dei rinforzi di fibra di vetro in modo da aumentare le qualità meccaniche e poter sopportare maggiori sforzi. In particolar modo il velovetro viene sfruttato per applicazioni per resistenza al fuoco.

La funzione principale è quella di conferire al manufatto caratteristiche meccaniche, oltre che permettere il processo di produzione in continuo e distribuire gli sforzi a cui la membrana è sottoposta. Devono perciò coesistere buone caratteristiche meccaniche, buona inerzia termica e buona compatibilità con la massa impermeabilizzante a caldo per permettere un'ottima impregnabilità.

Punto chiave delle armature è la loro posizione centrata, leggermente spostate verso la faccia esterna della membrana in modo da non intaccarne la struttura durante la messa in posa quando la membrana viene riscaldata.

1.3 Il processo produttivo

Il processo produttivo si compone essenzialmente di una sezione discontinua e di una in continuo. Mentre nella prima si preparano le mescole, nella seconda avviene l'impregnazione della mescola con l'armatura e la rifinitura superficiale della membrana come si può osservare in Figura 1.3.

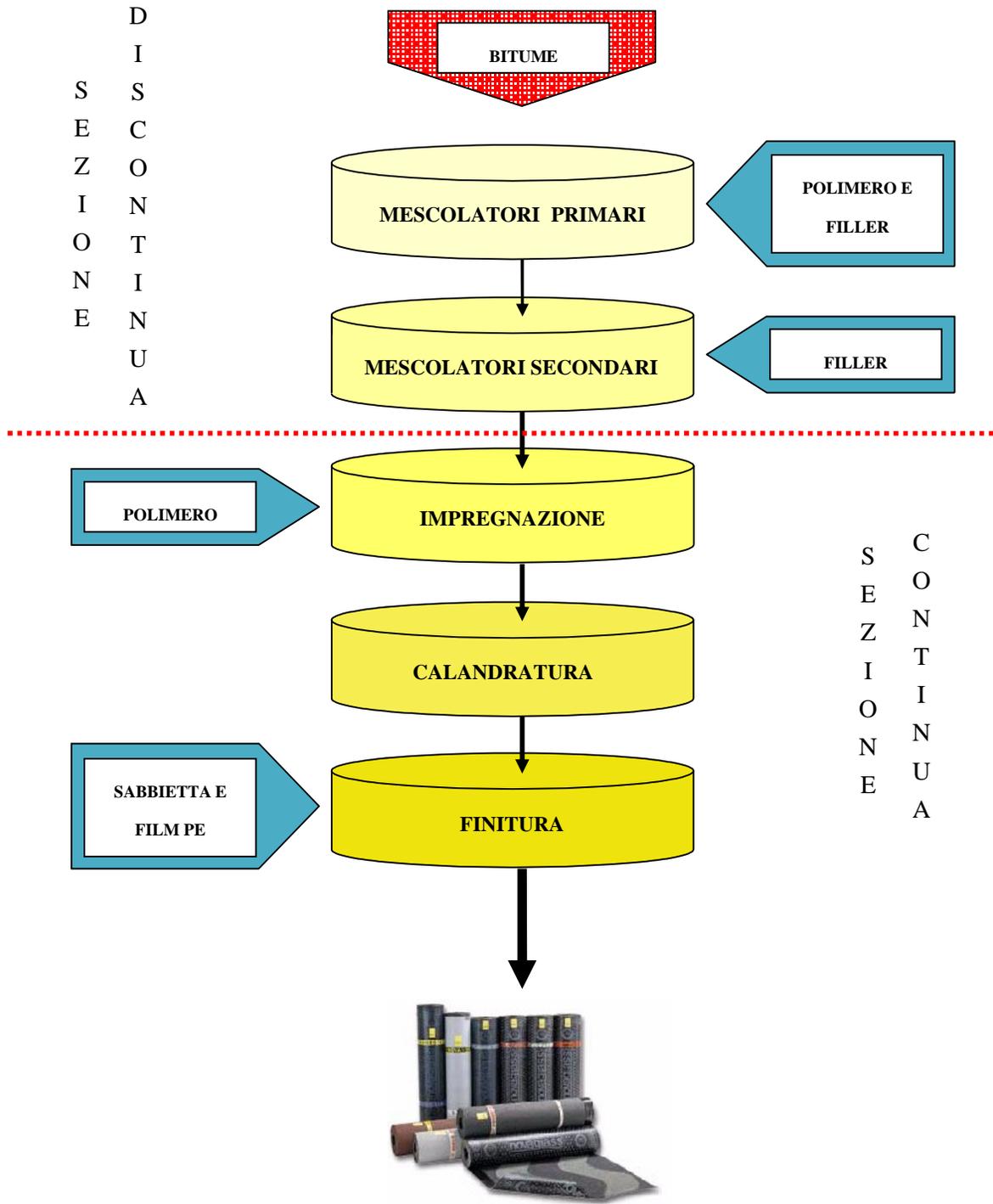


Figura 1.3. Diagramma a blocchi del processo produttivo.

1.3.1 La sezione discontinua

La sezione discontinua è caratterizzata da quattro miscelatori primari e quattro miscelatori secondari. Mentre nei miscelatori primari avviene la vera e propria produzione del *compound* bituminoso, i secondari fungono da serbatoi di polmonazione con lo scopo di mettere a disposizione la miscela per la linea continua ed evitare quindi l'arresto del processo.

I miscelatori primari sono caratterizzati da una camicia esterna in cui scorre olio diatermico entrante a 240°C e uscente a 220°C e da due agitatori decentrati rispetto l'asse geometrico del recipiente con giranti a dente di sega lungo tutto l'albero che danno un elevato sforzo di taglio. La miscela viene convogliata dall'esterno verso l'interno e dall'alto verso il basso, così da ottenere un buon mescolamento interno ed evitare fenomeni di galleggiamento o la presenza di zone ferme. Il bitume, stoccato in apposite cisterne, viene introdotto nei miscelatori primari attraverso una tubazione e viene lasciato riscaldare fino al raggiungimento di una temperatura idonea al mescolamento (180°C circa): durante questo lasso di tempo viene attivata la girante con il fine di favorire il riscaldamento e la dispersione del calore all'interno del miscelatore. Temperature molto elevate permettono un miglior mescolamento e omogeneizzazione tra bitume e *compound* ma temperature superiori ai 220°C possono portare a fenomeni di vulcanizzazione; per questo motivo il controllo della temperatura durante tutto il processo è di fondamentale importanza. Successivamente all'introduzione del bitume si procede con l'inserimento dei polimeri ed infine dei riempitivi necessari alla produzione del *compound* secondo una scaletta predefinita: fondamentale risulta quindi rispettare i tempi di produzione. I polimeri vengono inseriti manualmente e in ordine di peso molecolare dal maggiore al minore: quelli con peso molecolare minore necessitano infatti di un minor tempo per la dispersione. I riempitivi vengono solitamente inseriti verso la fine del processo di preparazione. Mentre il polverino di gomma viene inserito manualmente, il carbonato di calcio viene inserito mediante tubazione diretta tra i serbatoi di stoccaggio e i miscelatori. I miscelatori primari presentano alcune differenze tra loro: il miscelatore *Primario 3*, ad esempio, è molto più piccolo degli altri e viene utilizzato per piccole quantità di miscela; un'altra differenza si riscontra nel gruppo motore degli agitatori.

I mescolatori *Primario 1, 3 e 4* hanno motori elettrici dotati di due velocità standard di 160 giri al minuto e 240 giri al minuto, mentre il mescolatore *Primario 2* è caratterizzato da un motore elettrico con inverter che modula la velocità di mescolamento in base allo sforzo. Una volta ultimata, la miscela viene passata ad uno dei mescolatori secondari caratterizzati da un agitatore orizzontale a vite, con la funzione di mantenere le caratteristiche acquisite dalla miscela nelle fasi precedenti del processo. I serbatoi di stoccaggio del CaCO₃ sono collegati direttamente anche a questi miscelatori, quindi è possibile ultimare la carica nei miscelatori orizzontali se necessario.

Anche i mescolatori secondari, come i primari, sono caratterizzati da una camicia esterna nella quale passa olio diatermico, così da controllare che la temperatura della miscela si trovi nella situazione fisica ideale. Solitamente la temperatura ideale per la lavorazione in linea continua è compresa tra i 180 °C e 190 °C, ma può variare a seconda della miscela. Tutti i miscelatori primari sono collegati mediante tubazioni a tutti i miscelatori secondari in modo da poter gestire in maniera efficace tutte le possibili situazioni.

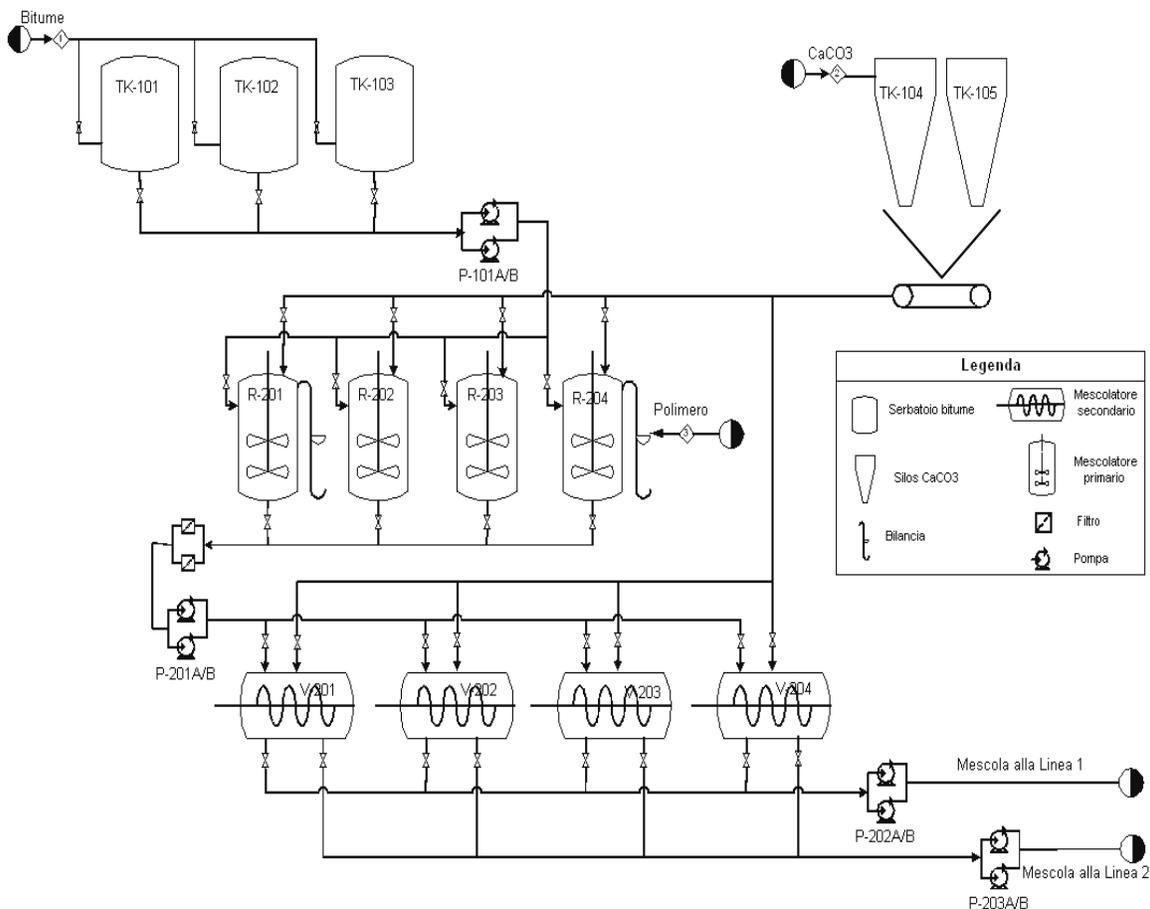


Figura 1.4. Schema di processo Novaglass-Sezione discontinua.

1.3.2 La sezione continua

La sezione continua è composta da una vasca di impregnazione, da un impianto di calandratura e da un sistema automatizzato che provvede all'imballaggio della membrana in rotoli.

Attraverso un sistema di rulli l'armatura viene fatta passare nella vasca di impregnazione, dove risiede la miscela proveniente dal miscelatore secondario. Durante questo processo una parte del *compound* aderisce all'armatura.

Fondamentale in questa parte del processo è la viscosità della miscela, poiché se questa fosse

troppo elevata l'armatura durante il passaggio risentirebbe di un eccessivo sforzo di taglio, rischiando anche la rottura, mentre una viscosità troppo bassa non permetterebbe un'impregnazione sufficiente a raggiungere determinati spessori.

Dopo questo passaggio la membrana grezza entra all'interno dell'impianto di calandratura nel quale vengono definiti la larghezza e lo spessore passando attraverso dei rulli.

Per evitare che i rulli e le calandre si sporchino si fa passare al loro interno olio diatermico, in modo che la miscela non si attacchi alle componenti meccaniche.

Ci possono essere anche dei cilindri con la funzione di goffatura della membrana: viene incisa la faccia interna della membrana permettendo la produzione di membrana a maggior spessore ma con più bassa massa areica.

In uscita dalla calandratura la membrana viene raffreddata mediante un bagno d'acqua in controcorrente, passaggio necessario per mantenere le caratteristiche ottenute durante il processo. Dopo il raffreddamento la membrana viene asciugata per mezzo di un flusso d'aria e successivamente viene fatta la rifinitura esterna con sabbietta o ardesia nella faccia esterna e un film in polietilene in quella interna. La membrana infine viene tagliata e imballata per mezzo di un sistema meccanico.

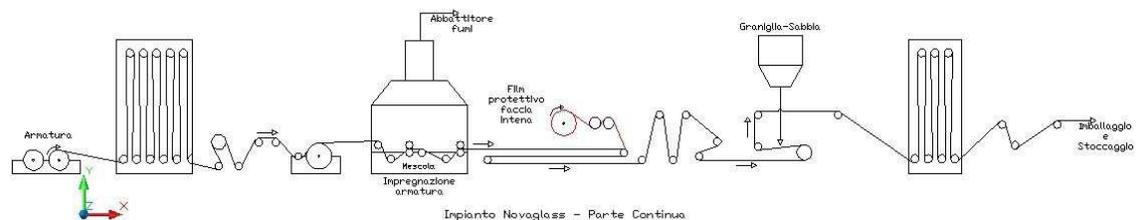


Figura 1.5. Schema di processo Novaglass-Sezione continua.

1.3.3 La modifica dell'impianto

L'attuale difficoltà nel reperire polimeri con un'ottima e veloce disperdibilità e il loro continuo aumento di prezzo hanno spinto l'azienda a ricercare nuove soluzioni per la produzione di mescole con caratteristiche ottimali. Per questo motivo si è deciso di modificare, per un periodo di prova, una parte dell'impianto inserendo nel mescolatore *Primario 1* un riciclo passante per un raffinatore. Il processo di riciclo, come si può vedere in Figura 1.6, è caratterizzato da una tubazione in acciaio coibentata, tre valvole, una pompa ed un organo mescolante chiamato raffinatore. Una valvola a saracinesca è ubicata all'uscita del mescolatore *Primario 1*, una valvola a regolazione all'ingresso del raffinatore e una valvola a tre vie collega il raffinatore al mescolatore *Primario 1* e ai mescolatori secondari ed è

posizionata dopo il raffinatore. Attraverso quest'ultima valvola si può far rientrare la miscela nel mescolatore *Primario 1* e permettergli di completare il riciclo oppure dirigerla direttamente nei mescolatori secondari. Poiché la miscela trattata è piuttosto viscosa e non è quindi sufficiente l'effetto pompante sviluppato dal raffinatore per far circolare il fluido, è stata inserita una pompa in aspirazione dal raffinatore per forzare il circolo.

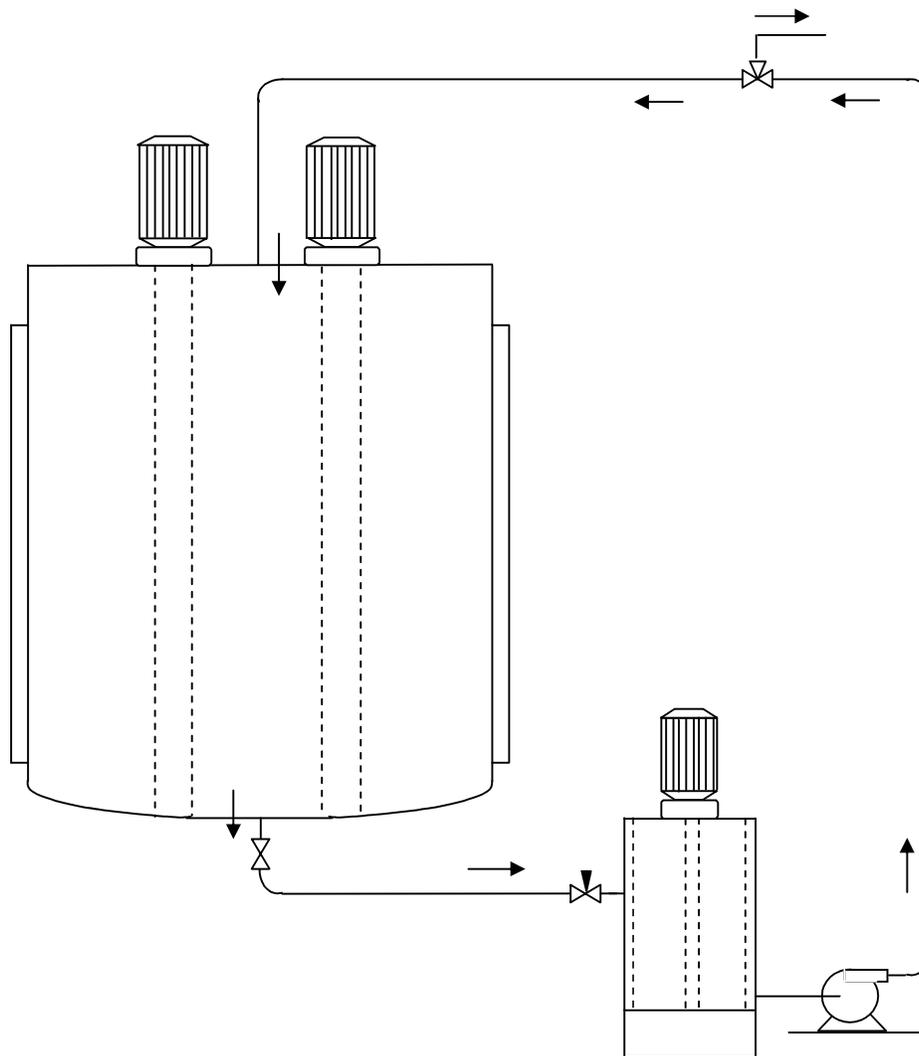


Figura 1.6. *Schema di modifica dell'impianto.*

La valvola di regolazione e il raffinatore lavorano in sincronia. Infatti, a seconda dello sforzo di lavoro del raffinatore, attraverso un input che viene letto da una centralina elettronica, la valvola si apre o si chiude. In questo modo, se il raffinatore è sotto sforzo, la valvola tende a chiudersi in modo da ostacolare l'ingresso di altro materiale (fino a chiudersi quasi completamente in situazioni di lavoro critiche), mentre si apre quasi completamente se il raffinatoro lavora in modo ottimale.

Il fluido esce dalla parte inferiore del mescolatore *Primario 1*, entra passando attraverso la valvola di regolazione nel raffinatore ed infine viene mandato nuovamente al mescolatore con l'ausilio della pompa.

Lo scopo principale dell'impiego del raffinatore è dettato dal fatto che l'azienda vuole sostituire il polimero sbs in polvere con un polimero sbs in granuli.

L'impiego di questo nuovo materiale risulta molto vantaggioso dal punto di vista economico: l'sbs in polvere si ottiene a partire dall'sbs in granuli per mezzo di un processo criogenico molto costoso che innalza considerevolmente il prezzo del polimero finale. D'altro canto questo polimero in granuli mediante un normale processo di miscelazione richiederebbe dei tempi molto lunghi (proibitivi per il ciclo produttivo dell'azienda) ed in molti casi non si otterrebbe comunque un'adeguata dispersione nel bitume.

1.3.3.1 Il raffinatore

Il raffinatore, meglio conosciuto in letteratura con il nome di *rotor-stator*, è un particolare mescolatore caratterizzato da un rotore (elemento mescolante rotante) ad alta velocità posto a piccolissima distanza da uno statore (elemento mescolante fisso). Questa particolare apparecchiatura crea grandi sforzi di taglio e una locale dissipazione dell'energia di gran lunga superiori ad un classico mescolatore. Esso può essere utilizzato in un processo continuo oppure *batch*, a seconda delle applicazioni. Generalmente il raffinatore viene utilizzato ad una velocità compresa tra i 10 m/s e i 50 m/s, per viscosità fino ad un massimo di 150000 cP (oltre questo limite di viscosità vengono impiegati degli estrusori). Risulta fondamentale una buona robustezza dell'albero motore per evitare rotture dovute all'elevato sforzo a cui viene sottoposto (E. L. Paul et al., 2004).

Il raffinatore viene utilizzato nell'industria chimica, biochimica, cosmetica e alimentare e può essere utilizzato per diverse operazioni di processo quali:

- Omogeneizzazione
- Dispersione
- Emulsione
- Macinazione
- Dissoluzione
- Reazioni chimiche
- Disgregazione cellulare
- Coagulazione (dovuta agli elevati sforzi di taglio)

Esistono varie tipologie di raffinatori che si differenziano per le dimensioni ma soprattutto per la geometria della girante (rotore), della griglia (statore) e per la distanza tra loro: vi possono essere giranti con 4, 6 o più pale con spessori variabili a seconda dell'utilizzo. Lo stesso vale

per le griglie che possono avere fori circolari, quadrati o rettangolari e di varie dimensioni (solitamente dell'ordine del millimetro) come si può vedere in Figura 1.7. Queste caratteristiche variano sensibilmente da produttore a produttore.

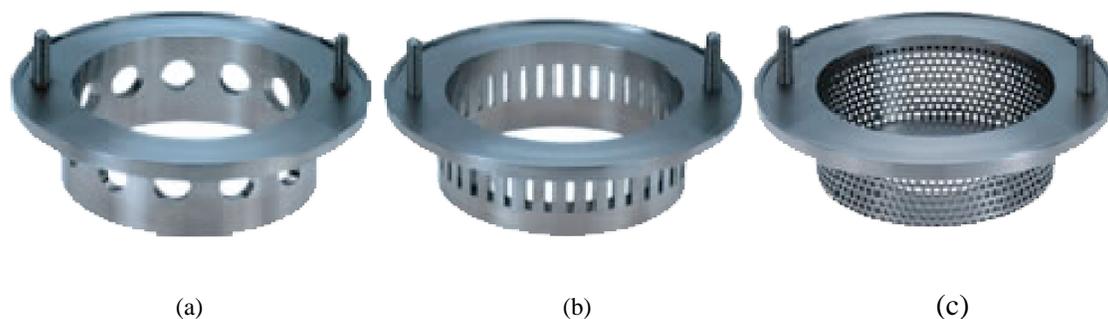


Figura 1.7. *Varie tipologie di statore: (a) disintegrante a fori circolari, (b) disintegrante a fori rettangolari e (c) a rete disintegrante (www.silverson.com).*

Per quanto riguarda la fluidodinamica del processo, come si può notare in Figura 1.8 e in Figura 1.9 (a), la girante muove il fluido radialmente spingendolo contro la griglia, costringendolo a passare attraverso le fessure di quest'ultima.

Anche in questo caso però vi possono essere considerevoli differenze a seconda del costruttore: alcuni prediligono far entrare il fluido dal basso, altri dall'alto.

Nel caso in cui il fluido entri dall'alto si avrà la parte superiore della testa aperta e la parte inferiore chiusa, il contrario nel caso il fluido entri dal basso.

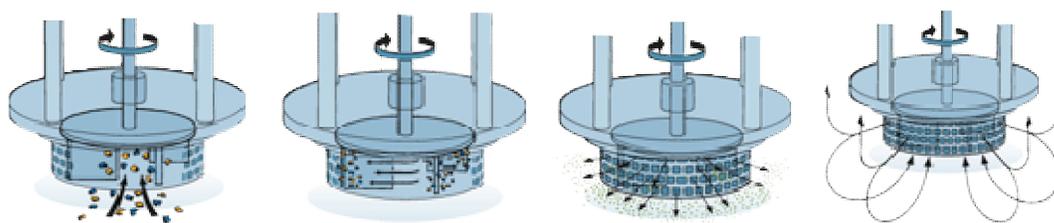


Figura 1.8. *Esempio di fluidodinamica interna ad un raffinatore (www.silverson.com).*

Attraverso una scala di osservazione microscopica è possibile determinare l'andamento teorico dei profili di velocità del fluido. Nel caso riportato in Figura 1.9 (a), (b) e (c) si considera un raffinatore a flusso radiale e, per semplificare lo studio, si possono trascurare le variazioni di velocità lungo l'albero della girante (asse z). Si osservi come la velocità diminuisce con un andamento quasi esponenziale tra la girante e la griglia e risulta poco

efficace l'effetto pompante della macchina: per questo motivo nel caso di applicazioni in continuo è favorevole forzare il circolo mediante una pompa.

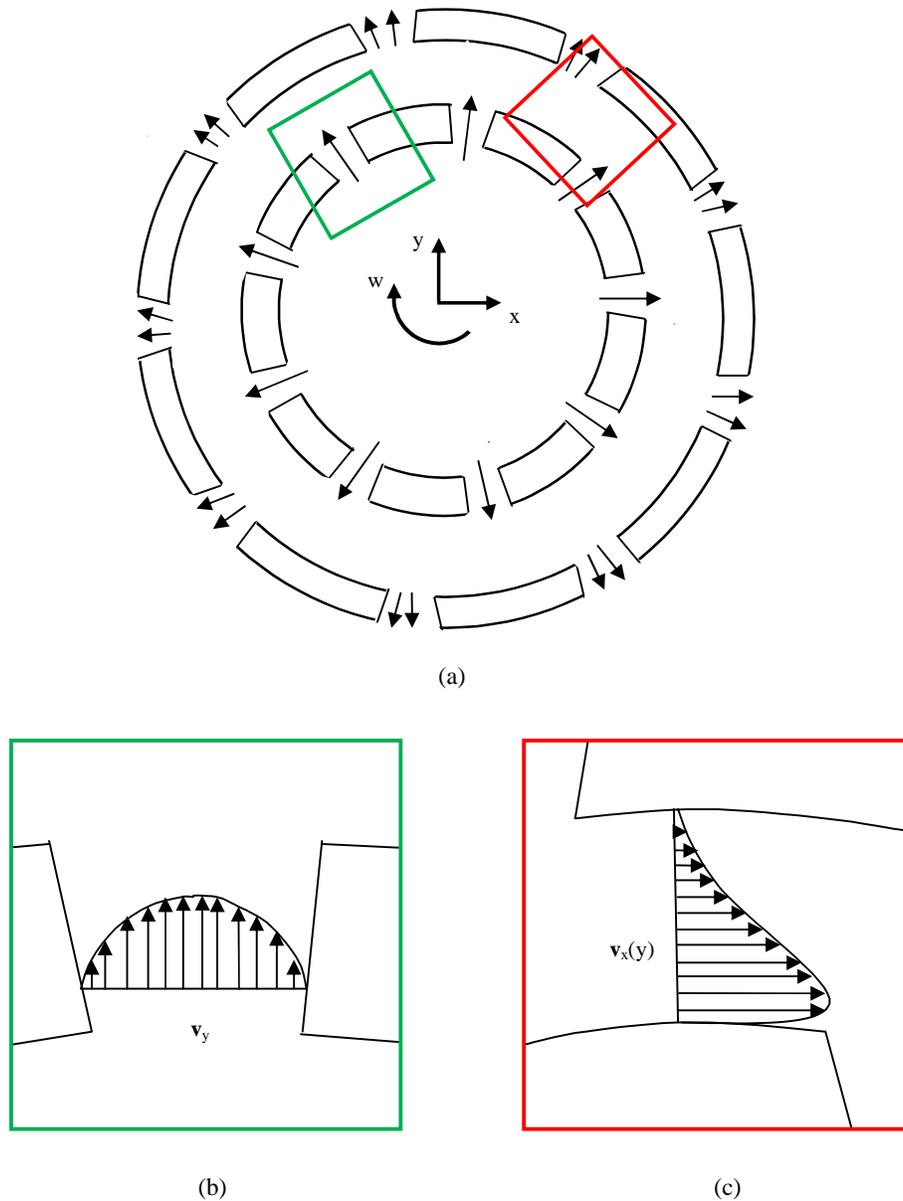


Figura 1.9. Esempio di fluidodinamica in un raffinatoro: (a) Rappresentazione schematica della fluidodinamica ; (b) Andamento della velocità del fluido tra due pale; (c) Andamento della velocità del fluido tra rotore e statore. (E. L. Paul et al., 2004)

Solamente in rarissime applicazioni (quando la viscosità del fluido risulta estremamente bassa) è possibile sfruttare l'effetto pompante sviluppato dalla girante per trasportare il fluido.

Inoltre l'elevata turbolenza creata dal mescolatore tra l'apparato rotante e quello statico comporta un elevato grado di miscelazione, fondamentale per determinate sostanze poco miscibili.

L'elevata velocità e la geometria del mescolatore lo rendono unico nel suo genere ma allo stesso tempo diventano caratteristiche fortemente limitanti: così subisce elevati sforzi meccanici, notevolmente ampliati nel caso di miscelazioni solido-liquide e/o con liquidi altamente viscosi, e per questo il raffinatore è di dimensioni piuttosto ridotte. Oltre una certa dimensione il costo di produzione della macchina aumenterebbe esponenzialmente, risulterebbero necessari motori elettrici di una certa importanza e si avrebbe un elevato consumo energetico, non ammortizzabile nella maggior parte delle applicazioni.

Le "piccole" dimensioni della macchina presa in considerazione non comportano grandi difficoltà nelle applicazioni in continuo poiché, se il processo lo richiede, è sufficiente aumentare la portata in ingresso e in uscita per incrementare la produzione.

Nel caso di applicazioni discontinue questo può essere invece un fattore determinante. La geometria del sistema garantisce un ottimo mescolamento locale (in prossimità del raffinatore) ma non riesce a creare turbolenze tali da permettere un trasporto convettivo di materia a grandi distanze.

Per questo motivo solitamente viene accoppiato al raffinatore un altro mescolatore di proporzioni tali da permettere un mescolamento anche blando ma in grado di creare dei moti convettivi tali da evitare qualsiasi tipo di stagnazione all'interno del recipiente.

Da quanto visto sopra, esistono vari modelli di raffinatori e diverse tipologie applicative.

Inoltre lo studio di questo tipo di mescolatore risulta molto difficile se effettuato attraverso modelli matematici; il più delle volte si ricorre quindi direttamente a modelli sviluppati a partire da dati sperimentali.

Per questo la Novaglass si è affidata alla Euroline S.r.l. (società con esperienza pluriennale nella produzione di sistemi meccanici per la produzione di membrane bituminose), con la quale intrattiene uno stretto rapporto di collaborazione: è stata proprio questa società infatti a fornire il raffinatore K40 all'azienda.

1.3.3.1.1 Il raffinatore K40

Il raffinatore K40, realizzato dalla Euroline S.r.l., ha dimensioni esterne di 95cm×95cm×150cm e, come si può osservare in Figura 1.10, è caratterizzato da una girante a otto pale movimentata da un motore a 40 Kw, da cui prende il suo nome.

Quattro pale della girante sono spesse, spalmano il materiale sulla griglia dello statore e sono collegate all'albero della girante mediante un complesso sistema di molle che permette un movimento radiale in modo da evitare rotture durante il funzionamento. Le altre quattro pale invece sono direttamente fissate all'albero della girante ed hanno una conformazione tale da tagliare il materiale che si trova spalmato sullo statore.

Lo statore è posto a una distanza di circa un millimetro dalle pale rotanti ed è caratterizzato da una griglia con fori quadrati dell'ordine del millimetro adatti allo sminuzzamento di parti solide.

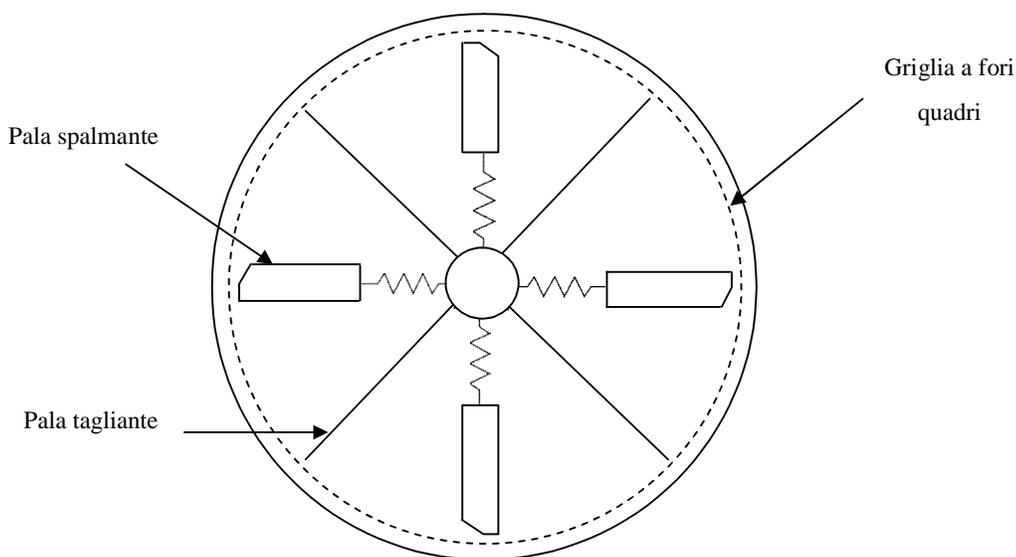


Figura 1.10. Pianta del raffinatoro K40.

Come si può vedere in Figura 1.11 il fluido entra nel raffinatoro passando attraverso una valvola a regolazione, viene inserito dall'alto e per mezzo dell'azione rotante della girante viene espulso attraverso la griglia per poi raccogliersi sul fondo e infine uscire. Si può quindi notare che la conformazione del raffinatoro non permette in alcun modo al fluido di bypassare la griglia: passando attraverso di questa il materiale subisce lo sminuzzamento.

Il raffinatoro inoltre è coibentato esternamente affinché non vi sia dispersione di calore.

Nella parte inferiore, sul fondo del raffinatoro, vi è un dispositivo di sicurezza che permette lo svuotamento della macchina nel caso non riesca a macinare il materiale e si inceppi: attraverso una coclea il contenuto viene aspirato dal fondo ed espulso. Il dispositivo si aziona manualmente solo quando il raffinatoro viene spento e l'operazione dura alcuni minuti. La valvola a regolazione si alza e si abbassa a seconda dello sforzo subito dal motore elettrico con un'apertura minima del 20% e un'apertura massima dell'80%.

Il raffinatoro è programmato per lavorare ad una velocità compresa tra i 4 e i 50 giri al secondo e comunque con un assorbimento non superiore ai 60 A. Per questo motivo, a seconda dello sforzo eseguito dal motore nel mescolamento, la velocità della girante varia automaticamente (ad un basso sforzo corrispondono alte velocità e valvola molto aperta). Per

questioni di sicurezza e per evitare rotture o lesioni dell'albero motore, se il raffinatoro lavora a velocità tendenti ai 4 Hz con assorbimenti superiori ai 60 A (situazione che indica un eccessivo sforzo), si avvia automaticamente il processo di spegnimento della macchina. I parametri relativi all'apertura della valvola e alla velocità e intensità di lavoro del raffinatoro vengono trasmessi su un pannello di controllo mediante il quale è possibile monitorare il processo.

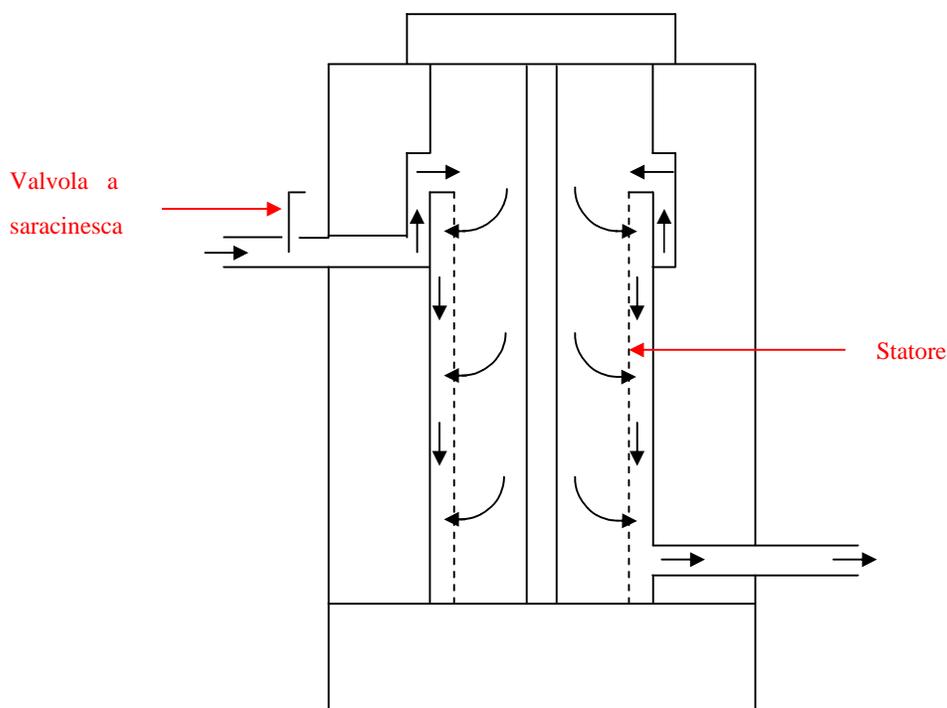


Figura 1.11. Sezione del raffinatoro K40, con rappresentazione schematica della fluidodinamica.

1.4 Considerazioni

Da quanto visto nei paragrafi precedenti vi sono svariate tipologie di membrane che si differenziano per le caratteristiche della massa impermeabilizzante e dell'armatura.

Il processo produttivo risulta piuttosto articolato e necessita di un continuo monitoraggio e supervisione.

Nel prossimo capitolo analizzeremo il processo di produzione di una miscela SBS/EC (con sbs in granulo) nel mescolatore *Primario 1* con riciclo nel raffinatoro K40 e cercheremo di ottimizzare il processo. Inoltre verrà valutato il funzionamento del raffinatoro a diverse concentrazioni di sbs, in modo da poter capire se vi è la possibilità di produrre altre mescole con diverse concentrazioni di sbs e se vi è una concentrazione critica oltre la quale il raffinatoro non riesce a lavorare.

Una volta analizzato e studiato il processo saranno effettuate le prove di durezza, viscosità e penetrazione sui campioni di mescola prodotta: i risultati saranno comparati alla stessa mescola ottenuta mediante il processo standard (senza l'utilizzo del raffinatore) con sbs in polvere, per verificare se vi sono differenze nella qualità finale. Le prove di durezza, viscosità e penetrazione sono indicatori molto precisi delle caratteristiche e della qualità della mescola ottenuta.

Infine verranno confrontati i costi per la produzione della mescola SBS/EC con sbs in polvere mediante mescolatore *Primario 1* e della mescola SBS/EC con sbs in granulo mediante mescolatore *Primario 1* con riciclo nel raffinatore K40 e l'eventuale periodo di ammortamento del raffinatore.

Parte II

Le prove sperimentali

2.1 Descrizione dell'esperienza

Come già visto nel capitolo precedente, lo scopo dell'esperienza è di analizzare il processo produttivo di una miscela sbs in granulo nel mescolatore *Primario 1* passante per il raffinatore K40, verificando l'effettiva possibilità di soppiantare l'sbs in polvere con quello in granulo. Per far ciò verrà analizzata la miscela SBS/EC (Tabella 2.1).

Tabella 2.1. *Composizione, in termini percentuali, della miscela SBS/EC.*

Bitume	Sbs	Altri polimeri	Riempitivi
55%	4%	1%	40%

Per ottimizzare il processo e per verificare il comportamento del raffinatore verranno eseguite quattro prove con miscela SBS/EC con diverse concentrazioni iniziali di sbs in granulo. Per ogni prova eseguita saranno effettuate le analisi di durezza, viscosità e penetrazione sui campioni di miscela completa prodotta: i risultati ottenuti saranno comparati alla stessa miscela ottenuta mediante il processo standard (senza l'utilizzo del raffinatore) con sbs in polvere, per verificare se vi sono differenze nella qualità finale.

Infine verranno confrontati i costi per la produzione della miscela SBS/EC con sbs in polvere mediante mescolatore *Primario 1* e della miscela SBS/EC con sbs in granulo mediante mescolatore *Primario 1* con riciclo nel raffinatore K40 e l'eventuale periodo di ammortamento del raffinatore.

2.1.1 Considerazioni iniziali

Un normale processo di produzione della miscela prevede i seguenti passi :

- Inserimento del bitume
- Inserimento dei polimeri
- Inserimento dei riempitivi

Queste operazioni come spiegato nel capitolo precedente hanno dei tempi ben stabiliti. Nel caso della miscela SBS/EC i polimeri vengono inseriti non appena il bitume raggiunge una

temperatura ottimale (tra i 175°C e i 185 °C) mentre i riempitivi vengono inseriti successivamente (poco prima del trasferimento della mescola dai mescolatori primari ai secondari); infine il tutto viene lasciato amalgamare per un'ora nei mescolatori secondari.

Per questioni di sicurezza si decide, durante le prove del polimero sbs in granulo, di partire con il mescolatore non completamente pieno inserendo da subito l'intera quantità di polimero sbs in granulo necessario ma solo una parte del bitume.

Infatti questo polimero, che per la sua composizione fisica risulta poco solubile e voluminosamente più ingombrante rispetto all'sbs in polvere, durante la mescolazione potrebbe causare un innalzamento del livello della mescola all'interno del mescolatore con pericolose uscite di mescola calda dalla parte superiore. La quantità rimanente di bitume verrà inserita quando sarà ultimata la distruzione del polimero.

Operando in questo modo si ha il vantaggio di poter lavorare con una mescola bitume-sbs in granulo con concentrazione arbitraria all'interno del raffinatore.

Inoltre si considera che lo sforzo eseguito dal raffinatore per la lavorazione della mescola sia dovuto essenzialmente alla distruzione dei granuli di sbs e si considera trascurabile la presenza di altri polimeri e riempitivi. In questo modo i risultati trovati potranno essere validi anche per altre mescole bitume-sbs in granulo l'aggiunta di altri polimeri.

2.1.2 Condizioni operative

Una mescola completa di SBS/EC all'interno del mescolatore Primario 1 è caratterizzata da:

- 8650 kg di bitume
- 200 kg di altri polimeri
- 750 kg di polimero SBS
- 6400 kg di riempitivo

Per un totale di 16000 kg di mescola finale.

Per cercare di ottenere dei risultati confrontabili tra loro, minimizzando il più possibile errori sperimentali, grazie anche all'esperienza aziendale, vengono delineate delle condizioni operative:

- Viene inserita nel mescolatore *Primario 1* la quantità di bitume necessaria per ottenere la percentuale di sbs iniziale voluta, si aziona il mescolatore Primario 1 e si attende che questo raggiunga la temperatura di 180 °C
- Vengono inseriti l'sbs in granulo e gli altri polimeri

- Si attendono 20 minuti (tempo necessario per ottenere un buon mescolamento all'interno del mescolatore), in modo da evitare zone ad elevata concentrazione di polimero
- Viene azionato il riciclo ed il raffinatore
- Quando il raffinatore raggiunge la velocità di 50 m/s (velocità massima di lavoro) e un amperaggio non superiore a 35 A, si può considerare che tutto il granulo sbs sia stato disintegrato (queste indicazioni sono state fornite dalla ditta costruttrice)
- Viene inserito il bitume mancante per completare la mescola ed infine i riempitivi.

Poiché lo sforzo eseguito dal raffinatore è dovuto essenzialmente alla distruzione del polimero sbs in granulo (come sottolineato nel paragrafo precedente), raggiunta la velocità di 50 m/s e un amperaggio non superiore a 35 A, il raffinatore viene spento e il riciclo svuotato. In questo modo la fase di completamento della mescola avviene secondo le normali procedure utilizzate per la produzione di una mescola attraverso il processo standard (senza riciclo nel raffinatore). Per poter analizzare il processo di lavorazione della mescola saranno raccolti i dati relativi alla velocità e amperaggio del raffinatore con un intervallo di 5 minuti e misurati il tempo necessario alla distruzione del polimero sbs (tempo di lavoro del raffinatore) e il tempo necessario per la lavorazione completa della mescola.

Verranno quindi eseguite quattro prove con concentrazioni nella prima fase (fase in cui avviene la lavorazione nel raffinatore) del 16%, 14%, 12% e 8 % di sbs in granulo. Si è deciso di iniziare con una percentuale massima del 16% poiché questa coincide con la percentuale di sbs presente nelle mescole a più alto contenuto di sbs prodotte dall'azienda. In questo modo possiamo verificare se il processo studiato è fattibile per tutto il range di mescole con polimero sbs realizzate dall'azienda.

2.1.2.1 Mescola al 16% iniziale di sbs in granulo

Seguendo le condizioni operative vengono inseriti inizialmente:

- 3800 kg di bitume
- 200 kg di altri polimeri
- 750 kg di polimero sbs in granulo

In questo modo si otterrà una concentrazione iniziale del 16% di polimero sbs in granulo.

Dalla raccolta dei dati relativi al raffinatore si ottiene un profilo di assorbimento e velocità tracciato nel grafico di Figura 2.1. Il raffinatore per distruggere completamente il polimero sbs in granulo impiega 115 min.

Il tempo totale necessario per completare la mescola, considerando tutte le fasi dall'inserimento del bitume iniziale nel mescolatore *Primario 1* fino al travaso nei mescolatori secondari, è di 230 minuti.

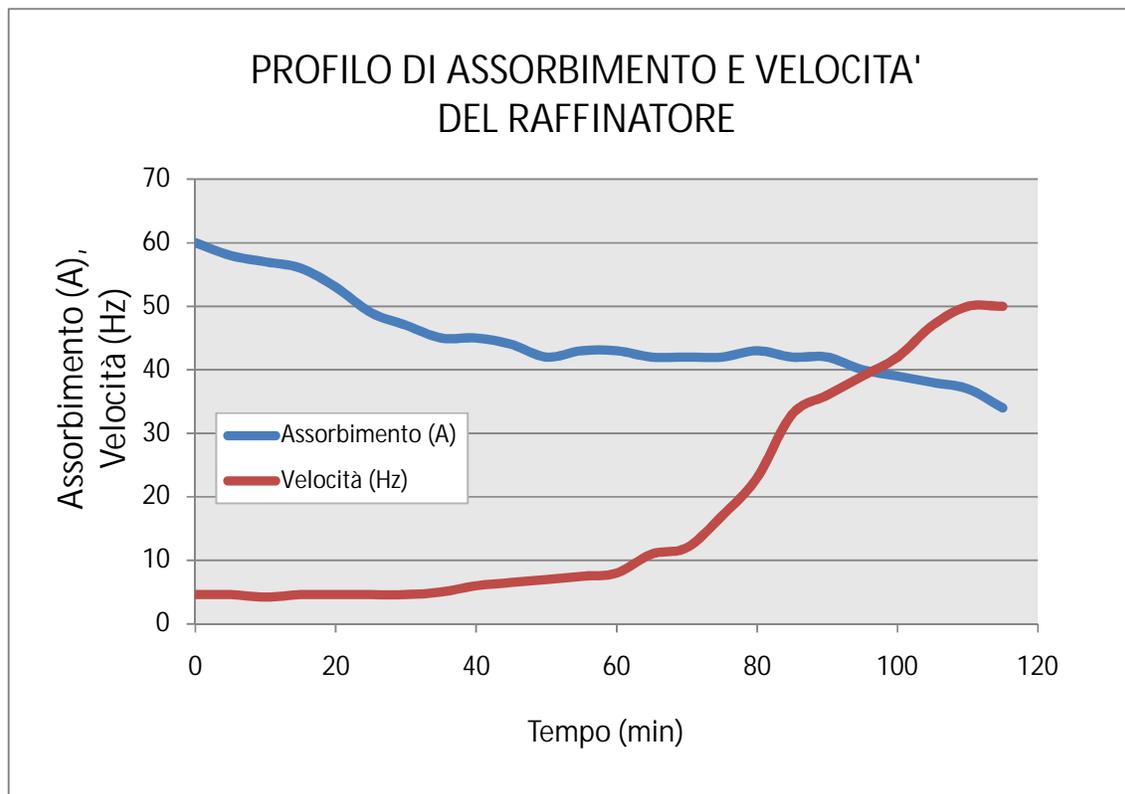


Figura 2.1. *Profilo di assorbimento e velocità del raffinatoro per una mescola con concentrazione iniziale del 16%.*

2.1.2.2 Mescola al 14% iniziale di sbs in granulo

Seguendo le condizioni operative vengono inseriti inizialmente:

- 4500 kg di bitume
- 200 kg di altri polimeri
- 750 kg di polimero sbs in granulo

In questo modo si otterrà una concentrazione iniziale del 14% di polimero sbs in granulo.

Dalla raccolta dei dati relativi al raffinatoro si ottiene un profilo di assorbimento e velocità tracciato nel grafico di Figura 2.2. Il raffinatoro per distruggere completamente il polimero sbs in granulo impiega 95 min.

Il tempo totale necessario per completare la mescola, considerando tutte le fasi dall'inserimento del bitume iniziale nel mescolatore *Primario 1* fino al travaso nei mescolatori secondari, è di 205 minuti.

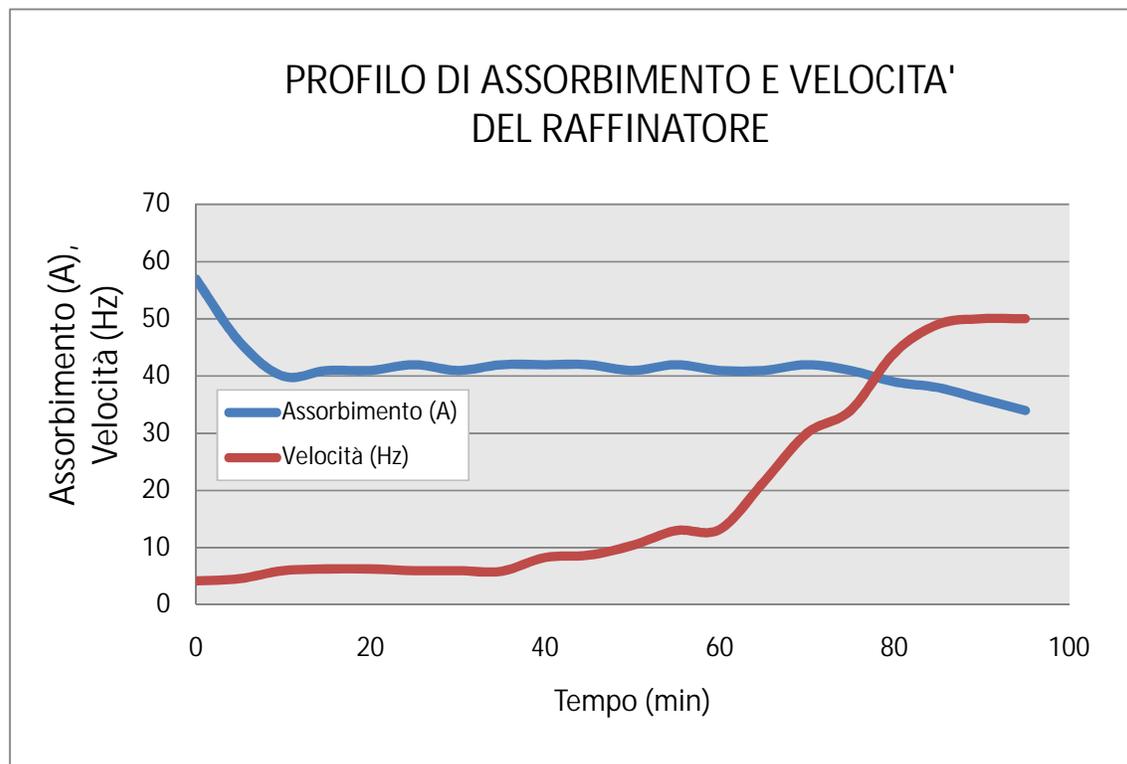


Figura 2.2. Profilo di assorbimento e velocità del raffinatoro per una mescola con concentrazione iniziale del 14%.

2.1.2.3 Mescola al 12% iniziale di sbs in granulo

Seguendo le condizioni operative vengono inseriti inizialmente:

- 5100 kg di bitume
- 200 kg di altri polimeri
- 750 kg di polimero sbs in granulo

In questo modo si otterrà una concentrazione iniziale del 12% di polimero sbs in granulo in miscela.

Dalla raccolta dei dati relativi al raffinatoro si ottiene un profilo di assorbimento e velocità tracciato nel grafico di Figura 2.3. Il raffinatoro per distruggere completamente il polimero sbs in granulo impiega 70 min.

Il tempo totale necessario per completare la mescola, considerando tutte le fasi dall'inserimento del bitume iniziale nel mescolatore *Primario 1* fino al travaso nei mescolatori secondari, è di 180 minuti.

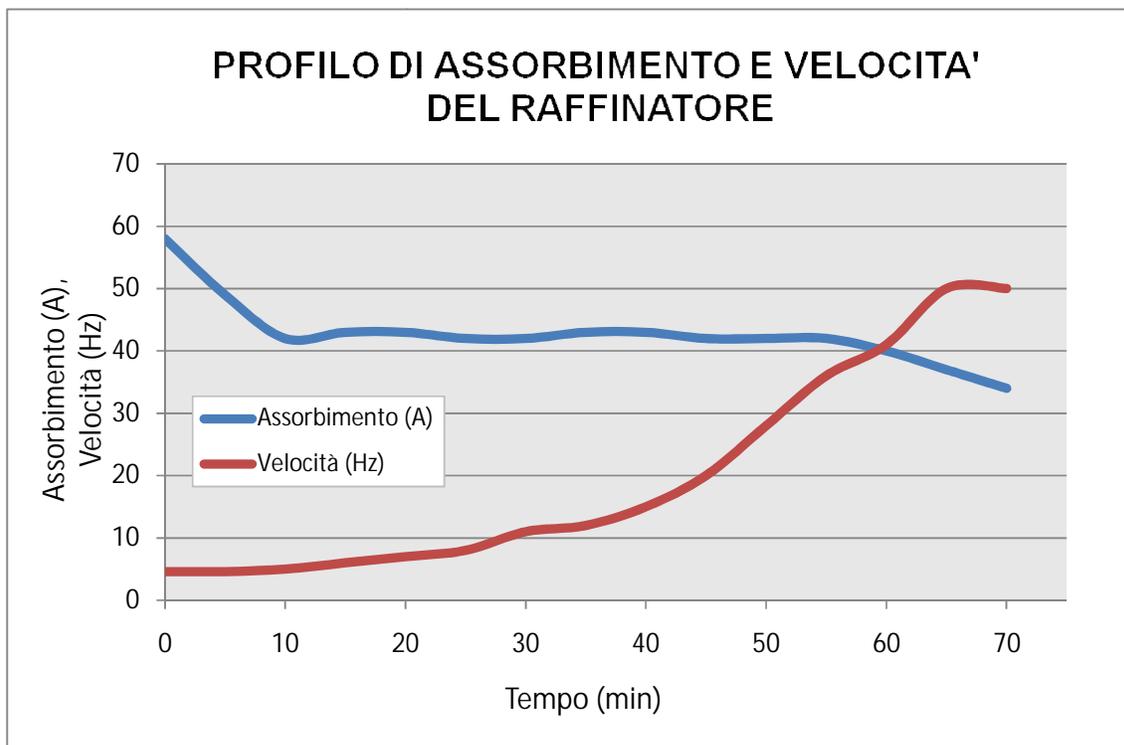


Figura 2.3. Profilo di assorbimento e velocità del raffinatoro per una mescola con concentrazione iniziale del 12%.

2.1.2.4 Mescola all'8% iniziale di sbs in granulo

Seguendo le condizioni operative vengono inseriti inizialmente:

- 8650 kg di bitume
- 200 kg di altri polimeri
- 750 kg di polimero sbs in granulo

In quest'ultima prova viene inserito fin dall'inizio tutto il bitume, seguendo in questo modo il normale processo di produzione della mescola, ottenendo una concentrazione dell'8% di sbs in granulo. Non sarà quindi necessario aggiungere ulteriore bitume alla fine del processo di macinazione del polimero sbs.

Dalla raccolta dei dati relativi al raffinatoro si ottiene un profilo di assorbimento e velocità tracciato nel grafico di Figura 2.4. Il raffinatoro per distruggere completamente il polimero sbs in granulo impiega 60 min.

Il tempo totale necessario per completare la mescola, considerando tutte le fasi dall'inserimento del bitume iniziale nel mescolatore *Primario 1* fino al travaso nei mescolatori secondari, è di 170 minuti.

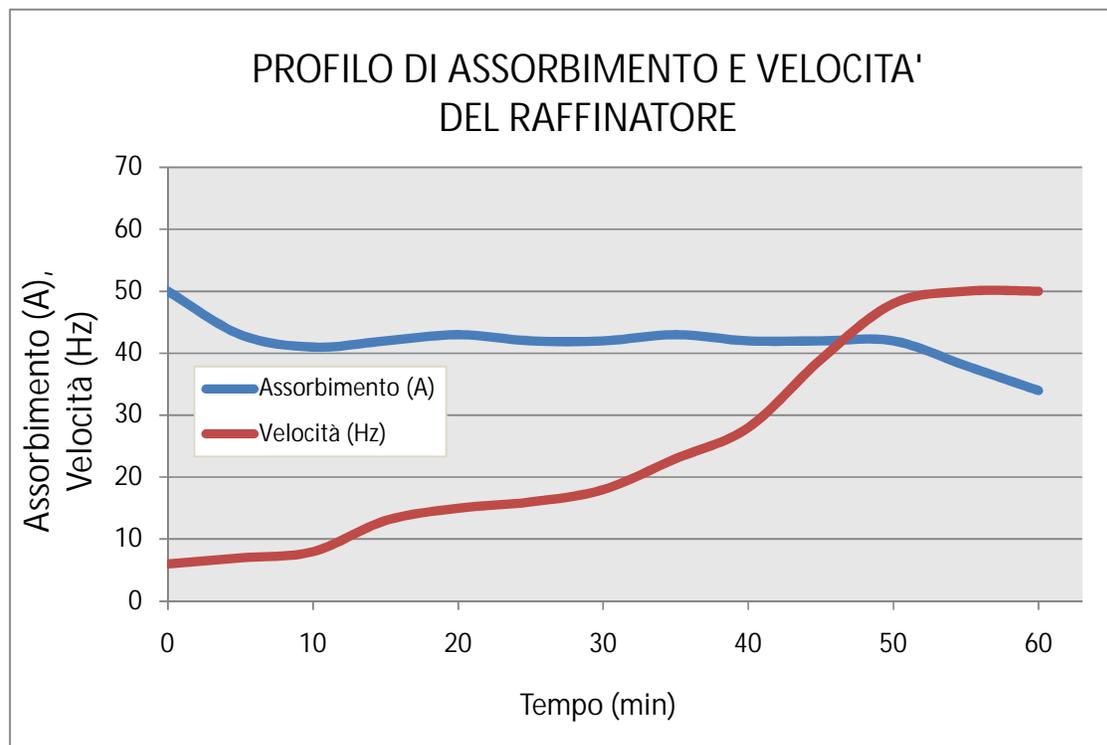


Figura 2.4. Profilo di assorbimento e velocità del raffinatoro per una mescola con concentrazione iniziale dell'8%.

2.1.2.5 Confronto dei profili di assorbimento del raffinatoro

Confrontando i profili di assorbimento del raffinatoro (Figura 2.5) si osserva immediatamente che le curve delle concentrazioni al 14%, 12% e 8% sono molto simili e si differenziano quasi esclusivamente per la loro lunghezza, mentre la curva della concentrazione al 16% inizialmente non si abbassa velocemente come le altre ma tende a rimanere con valori di assorbimento elevati per molto tempo.

Il valore di 34 A, considerato come indicatore di fine lavorazione del polimero sbs in granuli, viene raggiunto in tempi crescenti con l'aumentare della concentrazione, con una variazione dei tempi di lavorazione di 55 minuti tra la concentrazione minima (sbs all'8%) e quella massima (sbs al 16%) analizzate.

Si nota, inoltre, che l'assorbimento nella fase iniziale della lavorazione varia a seconda della concentrazione. Si evidenzia uno sforzo decisamente inferiore nella mescola con concentrazione dell'8% rispetto alle altre.

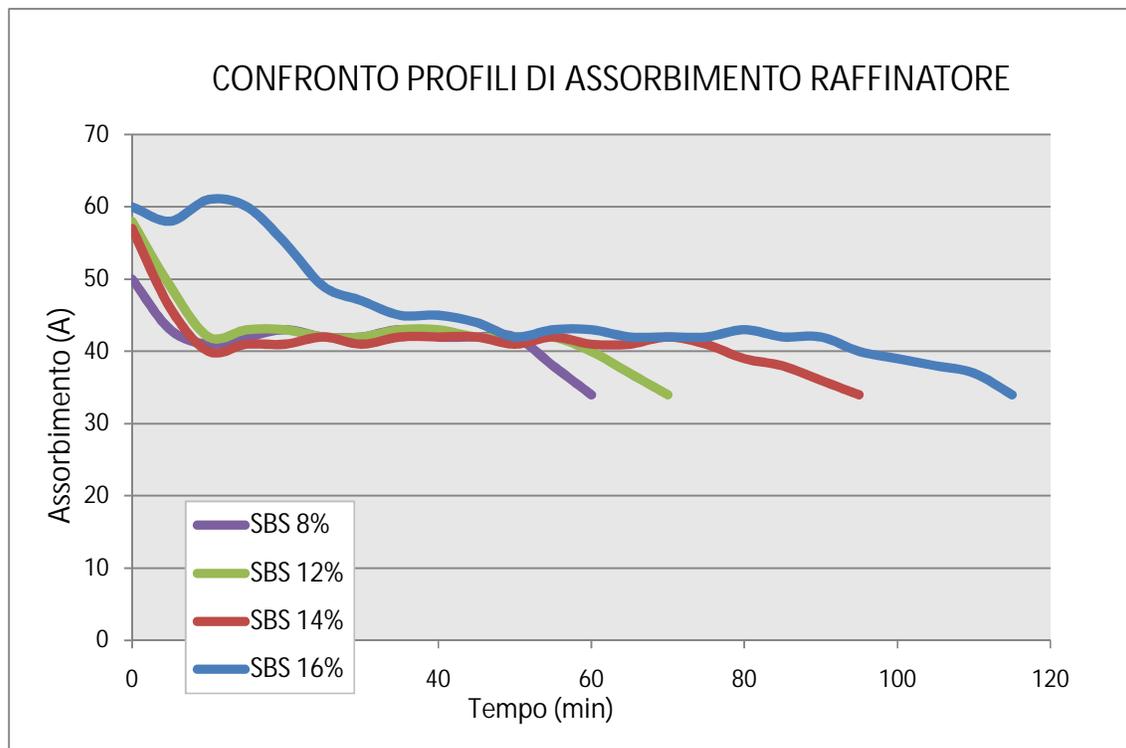


Figura 2.5. Confronto dei profili di assorbimento del raffinatoro per mescole con concentrazioni rispettivamente al 16%, 14%, 12% e 8%.

2.1.2.6 Confronto dei profili di velocità del raffinatoro

Confrontando i profili di velocità del raffinatoro (Figura 2.6), si osserva che all'aumentare della concentrazione le curve tendono a spostarsi verso destra mantenendo un andamento molto simile tra loro.

Il valore di 50 Hz, considerato come indicatore di fine lavorazione del polimero sbs in granuli, viene raggiunto in tempi crescenti con l'aumentare della concentrazione, con una variazione dei tempi di lavorazione di 55 minuti tra la concentrazione minima (sbs 8%) e quella massima (sbs 16%) analizzate, come evidenziato dai profili di assorbimento.

Per quanto riguarda la velocità iniziale, al variare della concentrazione del polimero sbs non si notano grandi differenze. I valori tra le mescole si discostano dell'ordine di 1-2 Hz.

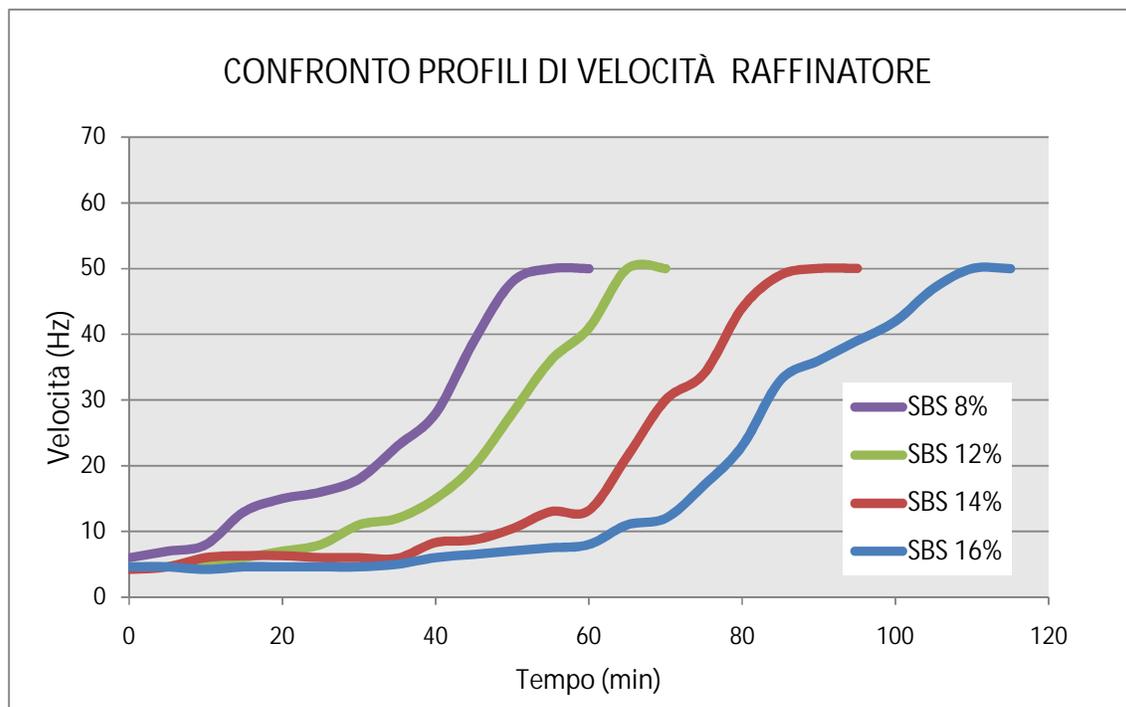


Figura 2.6. Confronto dei profili di velocità del raffinatori per mescole con concentrazioni rispettivamente al 16%, 14%, 12% e 8%.

2.1.2.7 Considerazioni sulla dipendenza del lavoro del raffinatori dalla concentrazione di sbs in granulo

Dai dati raccolti si osserva come il raffinatori abbia tempi di lavoro molto più lunghi all'aumentare della concentrazione, anche se la quantità di mescola da lavorare è inferiore. Per diminuire il periodo di lavorazione della mescola e così anche diminuire l'energia spesa per la lavorazione, risulta importante cercare di lavorare con la concentrazione minima di sbs in granulo in miscela, ossia iniziare la lavorazione con tutto il bitume necessario. Questa considerazione si può applicare a tutte le mescole e non solo alla mescola da noi analizzata.

Nel caso della mescola SBS/EC, adottando le necessarie misure di sicurezza, non sono state rilevate fuoriuscite di mescola dalla parte superiore del mescolatore *Primario 1* lavorando con tutta la quantità di bitume necessaria fin dall'inizio. Questo però non esclude la possibilità che vi siano fuoriuscite dall'alto nel caso si lavori una miscela con una concentrazione superiore di sbs in granulo, inserendo fin dall'inizio tutta la quantità di bitume necessaria.

Inoltre, considerando che nella prova al 16% di sbs in granulo il raffinatori inizia a lavorare a 60 A (sforzo massimo sopportato dal raffinatori, oltre il quale la macchina si spegne), risulta improbabile la possibilità di eseguire lavorazioni con concentrazioni superiori.

2.1.3 Analisi di laboratorio sulla qualità della mescola

Per ogni prova effettuata sono state analizzate le mescole finali ottenute (per mescole finali si intende la mescola completa di tutti i polimeri, tutta la quantità di bitume e tutti riempitivi necessari per realizzare una mescola SBS/EC). Si vuole così indagare se lavorando nel raffinatore con concentrazioni diverse, si ottiene una mescola con le medesime caratteristiche. Se così non fosse si dovrebbero riconsiderare i parametri fine lavorazione (60A e 50 Hz). Da una prima analisi visiva comunque non sembra esserci la presenza di granuli indisciolti.

Per analizzare la qualità della mescola ottenuta saranno eseguite le prove di durezza, viscosità e penetrazione. I risultati ottenuti saranno comparati ai relativi valori della stessa mescola ottenuta mediante il processo standard (senza l'utilizzo del raffinatore) con sbs in polvere, per verificare se vi sono differenze nella qualità finale.

2.1.3.1 Durezza a 25°C, 60°C e 80°C

La prova viene effettuata con dei campioni di mescola aventi dimensioni di 100 mm×50 mm ×4 mm. I campioni vengono immersi per circa un'ora in bagni termostatici a diverse temperature, sospesi mediante ganci metallici. Una volta trascorso il tempo necessario alla stabilizzazione termica, il provino viene poi appoggiato sul supporto metallico dello strumento. Tramite una leva il campione viene fatto incontrare con il punzone, che restituisce informazioni sul carico che è stato opposto all'azione del durometro dal campione di mescola. Maggiore è la durezza, ovviamente maggiore sarà il carico indicato tramite una scala di punti di Shore 00. La prova viene ripetuta su 3 punti diversi e viene riportato un valore medio (lo scostamento tra le varie prove è al più di una decina di punti sulla scala Shore 00). Le misure devono essere eseguite il più rapidamente possibile per evitare che il provino disperda troppo calore nell'ambiente.

La durezza viene calcolata alle temperature di 25°C, 60°C e 80°C per monitorare la termosensibilità della mescola in condizioni operative facilmente raggiungibili.

In Tabella 2.2 sono riportati i valori della durezza sui campioni prelevati.

Tabella 2.2. Valori ottenuti dalle prove di durezza a 25°C, 60°C e 80°C sui campioni di mescola SBS/EC ottenuta mediante lavorazione con riciclo nel raffinatore a concentrazioni di sbs in granulo del 16%, 14%, 12% e 8%.

Durezza (shore 00)	Mescola 16% di sbs iniziale	Mescola 14% di sbs iniziale	Mescola 12% di sbs iniziale	Mescola 8% di sbs iniziale
25°C	86	84	87	84
60°C	54	54	52	55
80°C	27	30	26	26

I valori ottenuti dalle prove di durezza eseguite sulle varie mescole danno risultati molto simili tra loro a temperatura costante. Questo indica che la termosensibilità della mescola finale rimane invariata operando con diverse concentrazioni di polimero sbs in granulo nel raffinatore.

2.1.3.2 Penetrazione a 25°C e 60°C

Con la prova del penetrometro viene data un'indicazione sulla durezza della mescola, in particolar modo sulla capacità di resistere alla perforazione opera di un ago di dimensioni standard.

Durante l'operazione di travaso nei relativi stampi che consentono la realizzazione dei campioni di mescola, parte del blend prodotto viene raccolto in una vaschetta circolare di alluminio avente diametro maggiore o uguale a 50 mm ed altezza maggiore o uguale a 35 mm. Dopo aver raffreddato il contenuto, due campioni vengono immersi in bagni termostatici per circa 2 ore alle temperature di 25°C e 60°C. Trascorso il tempo di stabilizzazione ed ultimata la preparazione dello strumento, i campioni vengono immersi in una vaschetta di vetro contenente acqua del bagno associato al campione. Con l'aiuto di luce artificiale si porta la punta dell'ago a sfiorare la superficie della mescola e un sistema automatizzato applica il peso di una massa di 100 grammi per una durata di 5 secondi. La penetrazione, che sarà letta sulla scala graduata premendo un tasto posto sulla parte superiore, viene espressa in [dmm] e si riferisce alla distanza percorsa dall'ago nella mescola.

Il test viene ripetuto 3 volte in punti diversi, cercando di rimanere una distanza minima di 10 mm dal bordo del campione (lo scostamento tra le varie prove è al più di una decina di dmm).

Il valore di riferimento sarà la media delle 3 prove effettuate.

In Tabella 2.3 sono riportati i valori della penetrazione sui campioni prelevati.

Tabella 2.3. Valori ottenuti dalle prove di penetrazione a 25°C, 60°C e 80°C sui campioni di mescola SBS/EC ottenuta mediante lavorazione con riciclo nel raffinatore a concentrazioni di sbs in granulo del 16%, 14%, 12% e 8%.

Penetrazione [dmm]	Mescola 16% di sbs iniziale	Mescola 14% di sbs iniziale	Mescola 12% di sbs iniziale	Mescola 8% di sbs iniziale
25°C	20	23	21	18
60°C	73	75	72	70

I valori ottenuti dalle prove di penetrazione eseguite sulle varie mescole danno risultati molto simili tra loro a temperatura costante. Questo indica che la resistenza a penetrazione della mescola finale rimane invariata operando con diverse concentrazioni di polimero sbs in granulo nel raffinatore.

2.1.3.3 Viscosità a 180°C

La prova di viscosità viene effettuata attraverso un viscosimetro Brookfield e ci consente di verificare la forza che un fluido oppone al mantenimento di una determinata velocità angolare di una girante n° 21 immersa nel fluido stesso. Essendo tale forza proporzionale alla viscosità, il viscosimetro elaborerà tale informazione e consentirà la lettura di tale valore in un display digitale.

Per prima cosa si porta la camera del viscosimetro alla temperatura di 180°C, con l'ausilio di una bilancia tecnica vengono pesati 8.5 grammi di mescola e inseriti poi nel contenitore cilindrico. Sia la mescola che la girante devono essere immerse insieme nella camera di prova per almeno 5 minuti, agitandole periodicamente. Una volta ultimati i preparativi si aziona il motore della girante, leggendo poi, alla stabilizzazione del valore, la viscosità riportata dal display.

In tabella 2.4 sono riportati i valori della viscosità sui campioni prelevati.

Tabella 2.4. Valori della viscosità a 180°C dei campioni di mescola SBS/EC ottenuta mediante lavorazione con riciclo nel raffinatore a concentrazioni di sbs in granulo del 16%, 14%, 12% e 8%.

Viscosità [cP]	Mescola 16% di sbs iniziale	Mescola 14% di sbs iniziale	Mescola 12% di sbs iniziale	Mescola 8% di sbs iniziale
180°C	7840	8180	8000	7880

I valori di viscosità ottenuti sulle varie mescole danno risultati molto simili tra loro. Questo indica che la viscosità della mescola finale rimane invariata operando con diverse concentrazioni di polimero sbs in granulo nel raffinatore.

2.1.3.4 Confronto tra mescole con sbs in granulo e polvere

Dalle analisi di durezza, penetrazione e viscosità sui campioni di mescola raccolti dalle quattro prove eseguite si evidenzia che la qualità del prodotto finale non dipende dalla concentrazione di sbs in granulo nella mescola iniziale utilizzata nella lavorazione mediante raffinatore. Si devono ora confrontare le caratteristiche della mescola SBS/EC, con sbs in granulo, ottenuta attraverso il riciclo nel raffinatore con le caratteristiche della mescola SBS/EC normalmente prodotta dall'azienda attraverso il processo standard con polimero sbs in polvere (Tabella 2.5). Non dobbiamo dimenticare che lo scopo dell'installazione del raffinatore è quello di poter produrre una mescola con le medesime qualità e con un risparmio in termini di costi.

Consultando l'archivio dell'azienda sono stati raccolti i valori di durezza (25°C, 60°C e 80°C), penetrazione (25°C e 60°C) e viscosità (180°C) relativi alle ultime dieci mescole

SBS/EC prodotte attraverso il processo standard nel mescolatore *Primaio 1* e abbiamo eseguito una media aritmetica per poter trovare un valore medio di riferimento.

Confrontando i rispettivi valori si nota come la mescola ottenuta mediante il processo modificato con riciclo nel raffinatore sia qualitativamente identica a quella ottenuta mediante il processo standard. Non si nota nessuna differenza dal diverso tipo di polimero utilizzato. Qualitativamente parlando, risulta quindi possibile pensare di soppiantare il polimero sbs in polvere con quello in granulo.

Dobbiamo ora verificare, in termini di tempi e costi, la compatibilità del nuovo processo produttivo con le esigenze aziendali.

Tabella 2.5. Valori medi di durezza (25°C, 60°C e 80°C), penetrazione (25°C e 60°C) e viscosità di una mescola SBS/EC con sbs in granulo ottenuta mediante la lavorazione nel raffinatore a concentrazioni di sbs in granulo del 16%, 14%, 12%, 8% e valori medi di durezza (25°C, 60°C e 80°C), penetrazione (25°C e 60°C) e viscosità di una mescola SBS/EC standard con sbs in granulo realizzata senza l'ausilio del raffinatore.

	Mescola 16% di sbs iniziale	Mescola 14% di sbs iniziale	Mescola 12% di sbs iniziale	Mescola 8% di sbs iniziale	Mescola standard
Durezza 25°C	86	84	87	84	86
Durezza 60°C	54	54	52	55	54
Durezza 80°C	27	30	26	26	29
Penetrazione 25°C	20	23	21	18	22
Penetrazione 80°C	73	75	72	70	73
Viscosità	7840	8180	8000	7880	7900

2.1.4 Fattibilità del processo produttivo con riciclo nel raffinatore

Da quanto visto nei paragrafi precedenti, la qualità della mescola ottenuta mediante raffinatore risulta pressoché invariata a quella ottenuta mediante processo standard. Inoltre dalle quattro prove eseguite non si notano differenze qualitative dalla percentuale di sbs in granulo presente in miscela durante la lavorazione con raffinatore. In ogni caso il polimero è stato distrutto completamente e distribuito omogeneamente all'interno della mescola. Risulta a questo punto necessario individuare il metodo produttivo più efficace in termini di tempi e costi.

Dai dati raccolti nelle quattro prove eseguite, si nota come i valori di amperaggio e tempo nella lavorazione della mescola nel raffinatore diminuiscono al diminuire della concentrazione di sbs in granulo. Risulta quindi favorevole eseguire la lavorazione con tutto il bitume necessario fin dall'inizio. In questo modo si abbassano i tempi di produzione della mescola e si diminuiscono i costi (in termini di elettricità spesa). Per questo motivo verrà considerato come tempo di produzione della mescola SBS/EC mediante raffinatore, quello

relativo alla quarta prova eseguita (tutto il bitume fin dall'inizio con una percentuale iniziale di sbs in granulo dell'8%).

In Tabella 2.6 sono riportati i tempi di produzione delle mescola SBS/EC con sbs in granulo mediante ausilio del riciclo nel raffinatore e i tempi di produzione della mescola SBS/EC con sbs in polvere prodotta dall'azienda mediante processo standard.

Tabella 2.6. *Tempi di produzione della mescola SBS/EC con sbs in granulo mediante processo modificato con riciclo nel raffinatore e della mescola SBS/EC con sbs in polvere mediante processo standard.*

Processo produttivo con raffinatore	Processo produttivo standard
170 min	160 min

I tempi sono stati calcolati partendo dall'inserimento del bitume nel mescolatore *Primario 1* fino al travaso della mescola completa nei miscelatori secondari.

Dai dati raccolti si nota una differenza di circa dieci minuti tra i due metodi produttivi. Questa differenza si può considerare quasi trascurabile sul tempo totale impiegato per la produzione della mescola. Dal punto di vista dei tempi di produzione, risulta quindi fattibile soppiantare la produzione della mescola SBS/EC con sbs in polvere mediante processo produttivo standard con la medesima mescola ottenuta utilizzando sbs in granulo con riciclo nel raffinatore.

2.1.5 Analisi dei costi

Per verificare l'effettiva utilità di modificare il processo produttivo dobbiamo analizzare la differenza dei costi di produzione di un batch di mescola SBS/EC tra il processo produttivo standard e quello mediante riciclo nel raffinatore.

Utilizzando il processo modificato abbiamo i seguenti costi aggiuntivi:

- Il mescolatore *Primario 1* lavora per un tempo superiore di 10 min ad un intensità media di 190 A con un potenziale di 380 V. Si avrà così un consumo aggiuntivo di circa 12 kWh.
- Il raffinatore lavora per 60 min ad un intensità di 60 A con un potenziale di 380 V. Si avrà così un consumo aggiuntivo di circa 16 kWh.
- La pompa del riciclo lavora per 60 min ad un'intensità di 8 A con un potenziale di 380 V. Si avrà così un consumo aggiuntivo di circa 3 kWh.

Considerando che il costo della corrente elettrica intorno ai 0.11467 €/kWh si avrà un costo aggiuntivo di circa 3.6 € D'altro canto la sostituzione del polimero sbs in polvere con quello

in granulo, permette un risparmio di circa 270 €/t di polimero sbs acquistato. Che coincide con un risparmio di circa 200 € nella produzione di un batch di mescola SBS/EC. Risultano quindi trascurabili i costi di produzione aggiuntivi rispetto al risparmio ottenuto attraverso la sostituzione della materia prima.

Poiché il costo della realizzazione del riciclo e del raffinatore si aggira intorno agli 80000 €, si ammortizzano le spese sostenute con 400 batch di mescola SBS/EC, che coincidono circa con la produzione annua dell'azienda.

Dalle considerazioni fatte sulla dipendenza del lavoro del raffinatore dalla concentrazione di sbs in granulo, risulta possibile trattare mediante raffinatore tutte le mescole bitume-polimero sbs prodotte dall'azienda. Si può quindi pensare di poter realizzare tutte le mescole bitume-polimero sbs utilizzando l'sbs in granulo. In questo modo visto che l'azienda consuma circa 800 t di polimero sbs si realizzerebbe un risparmio annuo superiore ai 200000 €. Si dovranno comunque effettuare delle prove per ogni singola mescola, per verificare che la qualità e i tempi di produzione siano accettabili.

Nel caso in cui tutte le mescole risultino idonee, visto il considerevole risparmio ricavabile, è ragionevole apportare la modifica già eseguita al mescolatore *Primario 1* ad almeno un altro mescolatore primario per poter sostenere l'intera produzione.

Conclusioni

Lo scopo di questa Tesi era quello di analizzare il processo produttivo di una miscela sbs in granulo nel mescolatore *Primario 1* passante per il raffinatore K40, verificando l'effettiva possibilità di sostituire l'sbs in polvere con quello in granulo. Per far ciò è stata analizzata la miscela SBS/EC.

Per ottimizzare il processo e per verificare il comportamento del raffinatore sono state eseguite 4 prove con miscela SBS/EC con diverse concentrazioni iniziali di sbs in granulo. Per ogni prova eseguita sono state effettuate le analisi di durezza, viscosità e penetrazione sui campioni di miscela completa prodotta; i risultati ottenuti sono stati comparati alla stessa miscela ottenuta mediante il processo standard (senza l'utilizzo del raffinatore) con sbs in polvere, per verificare se vi sono differenze nella qualità finale.

Infine sono stati confrontati i costi per la produzione della miscela SBS/EC con sbs in polvere mediante mescolatore *Primario 1* e della miscela SBS/EC con sbs in granulo mediante mescolatore *Primario 1* con riciclo nel raffinatore K40 e l'eventuale periodo di ammortamento del raffinatore.

Dai dati raccolti si osserva che il raffinatore riesce a lavorare efficacemente tutte le mescole bitume-polimero fino ad una concentrazione di sbs in granulo in miscela del 16%, ricoprendo così tutte le mescole prodotte dall'azienda. Inoltre, per ottimizzare il processo risulta auspicabile effettuare la lavorazione inserendo fin dall'inizio tutto il bitume necessario alla produzione della miscela, in modo da ottenere la minima concentrazione possibile di sbs in miscela.

I tempi di produzione della miscela SBS/EC mediante questo processo sono risultati idonei alle caratteristiche produttive dell'azienda. Infatti, il tempo di produzione della miscela con l'ausilio del raffinatore si è dimostrato di soli dieci minuti più lungo rispetto alla normale produzione della miscela mediante il processo standard, differenza che risulta trascurabile rispetto al tempo totale di produzione.

Non sono state riscontrate differenze in termini di qualità tra la miscela realizzata utilizzando l'sbs in granulo attraverso il nuovo processo rispetto a quella realizzata con sbs in polvere mediante il processo standard.

Dall'analisi dei costi si è dimostrato come si riesca ad ottenere un elevato beneficio modificando la produzione standard con il riciclo passante per il raffinatore. I costi operativi aggiuntivi risultano irrisori rispetto al risparmio ottenuto utilizzando come materia prima l'sbs in granulo.

I termini di risparmio sono talmente elevati che si può pensare di estendere questo metodo produttivo a tutte le mescole bitume-polimero sbs, anche se sarà necessario effettuare la modifica ad altri mescolatori primari per poter sostenere l'intera produzione.

Riferimenti bibliografici

Materiale interno Novaglass S.p.A.

E. L. Paul, V. A. Atiemo-Obeng e S. M. Kresta (2004). *Handbook of Industrial Mixing*. Wiley-Interscience, Hoboken (USA).

N. Harnby, M. F. Edwards e A. W. Nienow (2001). *Mixing in the process industries* (2th ed.). Butterworth Heinemann, Oxford (UK).

Siti web

<http://www.novaglass.com> (ultimo accesso: 15/06/2012)

<http://www.eurolinengi.it> (ultimo accesso: 23/07/2012)

<http://www.silverson.com> (ultimo accesso: 15/06/2012)