



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**

FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI PRINCIPI E IMPIANTI DI INGEGNERIA CHIMICA

“I. SORGATO”

**TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA**

(DM 509/99)

**ANALISI E STUDIO DI POSSIBILI  
MIGLIORAMENTI PER UN  
SISTEMA DI MESCOLOAMENTO  
INDUSTRIALE**

**Relatore: Prof. Fabrizio Bezzo**

**Correlatori: Ing. Franco Bevilacqua, Dott. Luciano Vacilotto**

**Laureando: RICCARDO MAGROFUOCO**

ANNO ACCADEMICO 2010/2011



# Riassunto

Questa Tesi costituisce un resoconto dell'attività di tirocinio svolta presso la Novaglass s.r.l., durante il quale è stato effettuato uno studio sui quattro mescolatori primari utilizzati dall'azienda per la produzione di membrane impermeabilizzanti.

Il lavoro comprende uno studio iniziale del processo di produzione, dallo stoccaggio delle materie prime fino al prodotto finale, con un'indagine approfondita sui mescolatori primari.

Lo scopo finale di questa attività sarà l'elaborazione di possibili modifiche all'impianto, come la variazioni geometriche dalle camicie di riscaldamento alle giranti interne o l'inserimento dell'*inverter* al fine di trovare le condizioni operative che portino al minor consumo di energia e maggior incremento di produzione e di qualità delle mescole.

Si ringrazia la Novaglass s.r.l., in particolare l'Ing. Franco Bevilacqua e il Dott. Luciano Vacilotto per la loro disponibilità e supporto tecnico.



# Sommario

<b>Introduzione .....</b>	<b>7</b>
<b>Capitolo 1 – Il processo produttivo della membrana impermeabilizzante .....</b>	<b>9</b>
1.1 L'azienda Novaglass s.r.l. ....	9
1.2 La membrana bitume-polimero.....	10
1.2.1 Funzioni della membrana bitume polimero .....	10
1.3 La membrana.....	11
1.4 Caratteristiche richieste alle membrane bitume-polimero .....	12
1.5 Il ruolo della massa impermeabilizzante nella membrana .....	13
1.5.1 Le membrane plastomeriche .....	13
1.5.2 Le membrane elastomeriche .....	14
1.5.3 Confronto tra membrane plastomeriche e membrane elastomeriche.....	14
1.6 Le cariche .....	15
1.6.1 Le cariche minerali.....	16
<b>Capitolo 2 – La linea di produzione.....</b>	<b>19</b>
2.1 La sezione discontinua .....	19
2.2 La sezione continua.....	22
2.3 Condizioni operative .....	23
<b>Capitolo 3 – Raccolta ed elaborazione dei dati .....</b>	<b>25</b>
3.1 Raccolta ed elaborazione dei dati.....	25
3.2 Dati mescolatori .....	26
3.3 Considerazioni sul profilo della temperatura .....	28
3.4 Considerazioni sul profilo dell'assorbimento .....	30
3.5 Qualità delle mescole .....	32
3.5.1 La penetrazione e la durezza .....	34
3.5.2 La viscosità .....	35
3.6 Miglioramenti dati dall'inverter .....	36

**Conclusioni..... 39**

**Riferimenti bibliografici ..... 41**

# Introduzione

Il lavoro di Tesi riguarda lo studio dei miscelatori primari utilizzati nella produzione del membrane impermeabilizzanti bitume-polimero presso la Novaglass s.r.l..

Il processo di produzione partendo dal bitume, e da vari polimeri (differenti in base alle caratteristiche richieste dal prodotto finale) porta alla creazione di un *compound* che lavorato in linea si “trasforma” nella membrana dai svariati aspetti esteriori.

L’obiettivo della Tesi, dopo uno studio iniziale dell’impianto e soprattutto dei vari mescolatori è studiare quali sono le possibili modifiche che apportate al processo possono far diminuire i consumi di energia e far aumentare la produzione e la qualità dei vari *compound*.

Lo studio si divide in tre parti:

- Studio iniziale dell’impianto e del sistema produttivo della Novaglass s.r.l.;
- Studio dei miscelatori primari con raccolta dei dati necessari;
- Elaborazione dei dati per ricercare possibili modifiche per l’ottimizzazione del processo.

La prima parte serve per avere una introduzione sull’organizzazione presente all’interno dell’azienda e sul funzionamento dell’impianto di produzione.

Nella seconda parte, verranno raccolti i dati da più tipologie di strumento in modo da poter verificare l’esattezza delle risposte e una volta elaborati i dati determinare la precisione e l’accuratezza dei segnali rilevati.

La terza parte consiste nell’elaborazione dei dati ritenuti più accurati, per poter determinare quali modifiche porterebbero ad un incremento di produzione e/o a un risparmio energetico

Sempre nell’ultima parte sono confrontabili i tempi, le condizioni operative e la qualità dei *compound* prodotti dai vari *mixer* e, grazie alle differenze geometriche dei quattro mescolatori, determinerò quali potrebbero essere la misure ottimali per un mescolatore industriale nella produzione di *compound* per membrane impermeabilizzanti.

Un ulteriore studio comprenderà la determinazione del risparmio che si ottiene utilizzando motori forniti di *inverter*, e verificare se questo sistema influenzi solo i consumi o vada a pesare anche sui tempi di riscaldamento e sui tempi necessari per la produzione di una determinata miscela.

Nella parte finale dello studio verrà stimato il guadagno economico che l’azienda ricaverebbe apportando le modifiche ritenute vantaggiose dallo studio effettuato.



# Capitolo 1

## Il processo produttivo della membrana impermeabilizzante

In questo capitolo sono esposte alcune considerazioni generali sul processo produttivo della membrana impermeabilizzante bitume-polimero. Segue un descrizione delle applicazioni di tale prodotto nel settore dell'edilizia e delle infrastrutture.

### 1.1 L'azienda Novaglass s.r.l.

La Novaglass, fondata nel 1983 si trova oggi all'avanguardia nella produzione di membrane impermeabilizzanti bitume-polimero. Grazie all'esperienze maturate sia nel settore dei prodotti impermeabilizzanti che in quello della petrolchimica, l'azienda ha registrato una continua crescita sino a divenire, un'azienda leader del settore sia a livello nazionale che internazionale. L'insediamento produttivo situato a Salgareda in provincia di Treviso è strutturato su un'area coperta di 11.000 m<sup>2</sup>. circondato da un parco verde di 100.000 m<sup>2</sup>. Due linee di produzione ed un laboratorio attrezzato con apparecchiature e strumentazioni tecnologicamente avanzate, sono gestiti da personale altamente qualificati, che ha maturato la propria esperienza sia nell'ambito dell'azienda che in altre attività legate al settore ed è in grado di guidare il cliente nella scelta della soluzione ideale per qualsiasi tipo di intervento.



Figura 1.1 Vista dell'azienda Novaglass

Il continuo investimento nell'innovazione degli impianti, nella ricerca di nuovi prodotti e nell'ottimizzazione di quelli esistenti, la ricerca al miglioramento delle diverse funzioni, che vanno dalla programmazione ai controlli sulle materie prime e sulla produzione, l'attività di ricerca e sviluppo, la progettazione, la consulenza e l'assistenza tecnica totale, hanno consentito alla Novaglass l'acquisizione nel 2010 della certificazione sul Sistema di Qualità Aziendale, secondo la norma UNI EN ISO 9001:2008. Con il raggiungimento di questo traguardo, l'intera gamma dei prodotti Novaglass è in grado di soddisfare qualsiasi richiesta dei diversi settori di applicazione.

### **1.2 La membrana bitume-polimero**

Con il termine membrana bitume-polimero si definisce un prodotto utilizzato nell'edilizia per l'impermeabilizzazione caratterizzato da una tecnologia particolare, sviluppata principalmente in Italia.

La membrana bitume-polimero è un materiale composito costituito da più componenti di base che sono la massa impermeabilizzante, i cui principali costituenti della miscela sono il bitume, i polimeri e l'armatura che vengono aggiunti per migliorare le proprietà fisiche e meccaniche e rendere il prodotto funzionale e pratico sia durante la posa in opera, sia nell'esercizio.

La sinergia dei componenti principali concorre a conferire alla membrana, esaltandole, le proprietà dei singoli materiali

#### *1.2.1 Funzioni della membrana bitume-polimero*

La funzione della membrana impermeabilizzante è dunque quella di fare barriera all'acqua sia in singolo strato che in multistrato.

Generalmente i sistemi impermeabilizzanti sono intesi come realtà tecniche capaci di impedire l'attività degradante dell'acqua verso le strutture alla gestione e all'uso razionale dell'acqua come elemento indispensabile per la vita umana. Tra le principali ricordiamo gli usi in tutti i tipi di coperture piane, siano esse:

- praticabili;
- non praticabili o carrabili;
- opere stradali,
- nelle gallerie e nei viadotti;
- nelle fondazioni;
- nelle coperture a falde;
- nei giardini pensili;

## Il processo produttivo della membrana impermeabilizzante

- nelle opere di contenimento e canalizzazione delle acque.

Si avranno così membrane classiche o membrane in cui l'interazione tra i componenti di base fornisce le migliori caratteristiche per la funzione a cui sono destinate come si ha nel caso delle membrane ignifughe o antiradice.

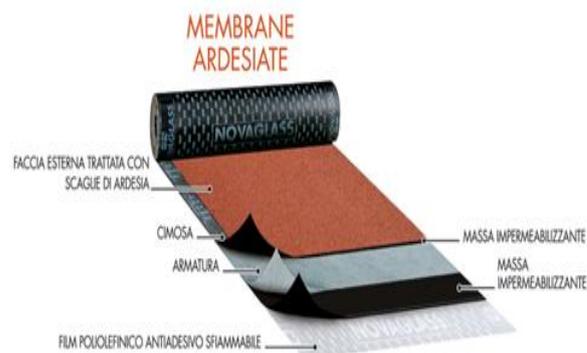
### 1.3 La Membrana

Nella membrana è possibile individuare una faccia esterna ed una faccia interna composte da diverse sostanze (vedi tabelle 1.1): quella esterna è quella a contatto con gli agenti atmosferici, mentre la faccia interna è quella che durante la posa in opera deve aderire perfettamente alla superficie da impermeabilizzare. La faccia esterna può essere costituita direttamente dalla massa impermeabilizzante ricoperta da sabbia o talco, oppure può presentare una superficie ricoperta da scaglie di ardesia o granuli di basalto a diversa colorazione.

Sia le sabbie che le graniglie hanno la funzione di antiadesivi: la membrana viene infatti commercializzata in rotoli e vi è la necessità che i fogli non si attacchino tra loro rendendo difficoltosa la posa in opera. La sostanziale differenza tra una membrana granigliata (fig. 1.3) ed una sabbziata (fig. 1.2) è che la prima si presta ad essere oltre che mezzo impermeabilizzante, anche copertura e finitura richiedendo caratteristiche di calpestabilità, resistenza agli UV e finitura diverse da una la cui destinazione è ad esempio un sottotetto o una fondazione. Per usi particolari, la faccia esterna può essere anche ricoperta di un film poliolefinico o munita di lamine metalliche. La superficie interna è ricoperta da un film in polietilene a bassa densità, esso ha ancora la funzione di antiadesivo e al momento della posa in opera, viene bruciato ed eliminato con l'operazione di sfiammatura. Tra le parti di massa bituminosa che costituiscono le due facce, si colloca l'armatura.



**Figura 1.2** Membrana Novaglass - Senza graniglia



**Figura 1.3** Membrana Novaglass - Granigliata

**Tabella 1.1** La membrana bitume-polimero nei suoi componenti principali e complementari

TIPO MATERIALI	VARIABILITA'
<b>Adesivi faccia interna</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sabbia, talco, film poliolefino</li> </ul>
<b>Finiture faccia esterna</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Scagliette di ardesia a diversa colorazione</li> <li>➤ Granuli in basalto a diversa colorazione</li> <li>➤ Lamine metalliche</li> </ul>
<b>Massa impermeabilizzante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plastomerica: bitume distillato modificato APP/IPP</li> <li>➤ Elastomerica: bitume distillato modificato con elastomeri SBS</li> </ul>
<b>Armatura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ TNT: poliestere da filo continuo (con possibilità di rinforzo in vetro)</li> <li>➤ TNT: poliestere da fibra corta (con possibilità di rinforzo in vetro)</li> <li>➤ Armatura composita in triplo strato organico/inorganico</li> <li>➤ TNT: armatura in velo di vetro</li> <li>➤ TNT: poliestere con velo di vetro (biarmato)</li> <li>➤ Velo di vetro più film poliestere</li> </ul>

da 36 $\mu$

- Velo di vetro con lamina metallica (alluminio)

**Antiadesivo**

- Film poliofinico

## 1.4 Caratteristiche richieste alle membrane bitume-polimero

La capacità di impermeabilizzazione è il principale requisito richiesto alla membrana bitume-polimero, in virtù delle sue possibili applicazioni. La totale impermeabilità è assicurata dalla naturale incompatibilità con l'acqua dei componenti che costituiscono la massa impermeabilizzante. È richiesta la possibilità di aderire facilmente alle superfici sia verticali che orizzontali, semplificando la posa in opera e permettendo di progettare le unità portanti della struttura per carichi nettamente minori. Il prodotto deve essere in grado di espletare in un ampio range di temperature le funzioni per le quali è stato progettato, dimostrando bassa sensibilità termica e buon comportamento a fronte di azioni termiche in questo intervallo definito da un limite minimo e uno massimo che vanno a definire e corrispondono rispettivamente alle temperature di transizione vetrosa e viscosa. Una membrana che si trovi al di sotto della sua temperatura di transizione vetrosa non è più flessibile e si comporta come un materiale fragile; i problemi si hanno soprattutto durante la fase posa in opera quando il rotolo di membrana viene steso. Se invece il prodotto viene a trovarsi sopra la temperatura di transizione viscosa, si comporta come un liquido viscoso e, se in pendenza, può cominciare a scorrere; il fenomeno è accentuato in presenza di carico applicato. Alla membrana sono richieste poi particolari caratteristiche di tipo fisico-meccanico. In presenza di piccole deformazioni il comportamento della membrana deve essere elastico e isotropo, cioè il più possibile uguale e uniforme in tutte le direzioni, in maniera tale da non avere difformità di resistenza ai carichi e alle sollecitazioni lungo lo sviluppo della membrana stessa. Va da sé che il prodotto debba mostrare adeguata resistenza alle azioni meccaniche, quali trazione, lacerazione, punzonamento. Infine la membrana deve soddisfare delle particolari esigenze a livello di prestazioni ambientali e di sicurezza come:

- non rilasciare composti inquinanti verso le superfici di contatto, e verso l'ambiente;
- essere un buon isolante elettrico;
- non essere aggredibile da muffe, roditori, batteri;

A seconda degli additivi con i quali viene prodotta la massa impermeabilizzante, è possibile inoltre fornire proprietà antifiama, insonorizzanti e antiradice.

## 1.5 Il ruolo della massa impermeabilizzante nella membrana

La massa impermeabilizzante è la componente di maggiore importanza per quanto riguarda la funzionalità espressa dal prodotto finito e riprende essenzialmente le proprietà dei polimeri impiegati come modificanti nei bitumi di distillazione. In funzione della tipologia di polimeri che vengono impiegati per modificare il bitume, le masse impermeabilizzanti assumono proprietà diverse e si possono suddividere in due grandi famiglie:

- Le mescole impermeabilizzanti plastomeriche, che riprendono le proprietà plastomeriche dei polimeri poliolefinici saturi impiegati per modificare il bitume;
- Le mescole impermeabilizzanti elastomeriche, che riprendono le proprietà elastomeriche degli elastomeri stirolici insaturi termoplastici adottati come modificanti.

### 1.5.1 Le membrane plastomeriche

Nel caso delle membrane plastomeriche, i polimeri utilizzati, sono omopolimeri, copolimeri, o altri poliolefine di natura satura e apolare. In merito a ciò, le masse bituminose presentano prevalentemente caratteristiche plastiche con possibilità di modificare il comportamento elastico e la flessibilità a basse temperature variando i rapporti tra gli omopolimeri (plastici) e i copolimeri (elastici) nei formulati. Presentando un ampio intervallo di plasticità, sono membrane con un buon comportamento alle alte e basse temperature e una sufficiente stabilità termodinamica. In virtù della natura dei polimeri, poi, presentano una spiccata inerzia verso i raggi UV, l'azoto, l'ossigeno e gli agenti atmosferici; sono pressoché insensibili all'azione degli alcoli, delle soluzioni acide e basiche e degli agenti riducenti. Alle medio - basse temperature sono insolubili in solventi polari, mentre sono solubili in solventi apolari, sono aggredibili da alogeni liberi, e da agenti fortemente ossidanti.

### 1.5.2 Le membrane elastomeriche

Per le masse impermeabilizzanti elastomeriche, sono impiegati i polimeri termoplastici di natura insatura e polare, soprattutto la gomma termoplastica stirene-butadiene-stirene. Anche in questo caso la massa riprende preferenzialmente le proprietà dei polimeri di base. Più in concreto, rispetto alle masse plastomeriche, quelle elastomeriche presentano una maggiore invecchiabilità per azione degli agenti atmosferici, migliore stabilità dovuta alla maggiore compatibilità tra bitume e

Il processo produttivo della membrana impermeabilizzante

polimero, un intervallo di plasticità leggermente inferiore con minore resistenza alle alte temperature e migliore flessibilità a freddo.

### *1.5.3 Confronto tra membrane plastomeriche e membrane elastomeriche*

Anche se ogni tipologia di membrana offre dei vantaggi e degli svantaggi (come vedremo di seguito) non c'è una famiglia che primeggi sull'altra. Ognuna di essa è in grado di esprimere proprietà al vertice della qualità in alcuni campi e nel contempo significative carenze in altri. Entrambi i prodotti comunque sono riusciti ad affermarsi, perché hanno dimostrato di soddisfare le diverse esigenze del settore; nella progettazione e nella realizzazione dei sistemi impermeabilizzanti, la scelta per l'una o l'altra famiglia va fatta comunque in relazione delle loro proprietà e quindi delle capacità di soddisfare le specifiche richieste. Alla massa impermeabilizzante spetta il primato in termini di importanza, perché è quella che caratterizza il manufatto finito in relazione alle possibilità applicative e alla destinazione d'uso. I vantaggi offerti dai manti elastomerici rispetto a quelli plastomerici vanno ricercati soprattutto in quegli aspetti che contribuiscono a rendere i sistemi impermeabilizzanti più affidabili. Da ciò l'importanza assunta dai manti elastomerici nella loro alta propensione alla saldabilità, all'affidabilità delle giunzioni, e alla conservazione della loro integrità anche nelle situazioni rese critiche dalle sollecitazioni termiche e meccaniche. I manti elastomerici hanno inoltre, come accennato, il vantaggio di presentare maggiore allungamento elastico, e quindi conservare la loro integrità anche in condizioni di criticità dei supporti, di consentire la manovrabilità e l'applicabilità anche alle basse temperature, di permettere il loro utilizzo anche in sistemi impermeabilizzanti misti (plastomerico più elastomerico).

Ovviamente i plastomerici si fanno preferire, date le loro qualità, se è necessaria una stabilità di forma a caldo a temperature elevate, o se è necessaria una forte protezione da agenti quali i raggi ultravioletti e l'ozono, o comunque si vuole una copertura che duri nel tempo, e che quindi resista all'azione degli agenti atmosferici. Il motivo dell'inerzia chimica presentato, verso elementi e composti aggressivi, viene spiegato dalla natura satura e apolare dei polimeri olefinici che costituiscono la fase continua sulla struttura della miscela. Tuttavia anche la massa impermeabilizzante plastomerica, come tutti gli elementi ed i composti di natura organica ed inorganica, subisce nel tempo delle modificazioni di tipo fisico e chimico che ne alterano le proprietà e quindi la invecchiano. Il tipo di modificazione dipende sempre dal grado di qualità del prodotto e dal grado di sollecitazione (termica, meccanica, chimica) al quale viene sottoposto, a provocare processi in tal senso sono sempre azioni congiunte di diversi fattori. Svolgendo la propria funzione sulla membrana, la massa

impermeabilizzante resta esposta agli elementi dell'atmosfera ed alle sollecitazioni provocate dai supporti. Dall'atmosfera provengono preferenzialmente le aggressioni di natura chimica da parte di composti oleosi e residui provenienti dalla combustione degli idrocarburi usati nelle auto, nelle industrie e nelle case. Contemporaneamente intervengono anche gli effetti fotochimici della luce solare, gli UV e l'ozono. Detti elementi provocano sulla superficie della massa fenomeni di degrado esprimibili come irrigidimento e perdita del potere di allungamento. Ad esaltare il fenomeno contribuiscono processi di evaporazione dei composti oleosi a basso peso molecolare, e anche le sollecitazioni meccaniche derivanti dai movimenti dilatativi e contrattivi dei supporti. Sulle masse plastomeriche tuttavia è la sollecitazione termica quella che maggiormente favorisce i processi di invecchiamento perché accelera le aggressioni superficiali, favorisce l'essudazione e facilita la segregazione dei componenti all'interno della massa con il risultato di penalizzare anche la stabilità termodinamica. In tutti i casi, il processo di invecchiamento si manifesta attraverso una riduzione di quello che viene definito "intervallo della temperatura di utilizzazione" che rappresenta il *range* di temperature all'interno del quale il comportamento reologico si mantiene ottimale rispetto agli stati di sollecitazione prevedibili in esercizio. Tale intervallo è compreso tra la fase di transizione vetrosa (che si determina a basse temperature) e l'inizio della fase di transizione viscosa. Più ampio risulta detto intervallo anche dopo invecchiamento, e più la massa è in grado di comportarsi ottimamente alle condizioni di esercizio.

### 1.6 Le cariche

Le materie prime che compongono la miscela sono il bitume e i polimeri, queste materie prime derivano entrambe dall'industria del petrolio. I recenti aumenti del prezzo del greggio al barile si ripercuotono negativamente anche sui costi delle materie prime derivate dalla raffinazione e dalla distillazione del petrolio e di conseguenza anche sul costo dei prodotti da essi derivati, che diventano spesso importanti. Oltre alle sostanze di cui si è appena discusso, spesso alla massa impermeabilizzante vengono aggiunte altre sostanze, dette riempitivi, il cui scopo è generalmente proprio quello di diminuire il prezzo del prodotto finale, essendo il costo di tali materiali di gran lunga inferiore a quello delle mescole. Di solito vengono utilizzate cariche minerali o polverini di gomma

### 1.6.1 Cariche minerali

Le cariche minerali più utilizzate sono i carbonati di calcio ed i talchi, la loro composizione chimica non presenta alcuna attività superficiale verso la parte organica (bitume/polimero) con la quale vengono mescolati; all'interno della massa impermeabilizzante svolgono la funzione di riempitivi. Per questo motivo, le proprietà più importanti che le cariche minerali debbono presentare sono in ordine di importanza:

- la granulometria < 90 micron, oltre questa soglia viene accettato solo il 3% di granulometria 91 ÷ 100 micron;
- la regolarità granulometrica;
- il grado di purezza.

Sia i carbonati che i talchi, vengono ottenuti per frantumazione e macinazione di rocce sedimentarie la granulometria e il grado di purezza dipendono dal tipo di roccia originaria e dalla tecnologia di produzione. Come detto, le cariche minerali vengono utilizzate soprattutto per ridurre i costi del prodotto finito. Nelle mescole plastomeriche (APP), la carica minerale contenuta fino al 10% ÷ 12% non produce variazioni apprezzabili sulle caratteristiche tecniche, ma svolge leggeri effetti di stabilizzazione sulla struttura morfologica e anche protezione della massa dagli UV per effetto opacizzante. Quando, però, la percentuale supera il 12% si ottengono delle variazioni delle caratteristiche fisiche e meccaniche, in particolare sono state riscontrati:

- aumenti della viscosità;
- aumenti della rigidità;
- diminuzioni della penetrazione;
- riduzioni della flessibilità a freddo;
- aumento del carico a rottura;
- diminuzione dell'allungamento a rottura.

Nelle mescole elastomeriche (SBS) la presenza della carica minerale in bassa concentrazione (fino al 12%), come per le plastomeriche non produce effetti; superando il 15% le caratteristiche tecniche si modificano, anche in questo caso, in modo proporzionale all'aumentare del contenuto in carica. In particolare:

- non viene influenzata molto la flessibilità a freddo;
- aumenta la viscosità;
- aumenta la rigidità;
- diminuisce la penetrazione;
- aumenta il carico a rottura.;
- diminuisce l'allungamento a rottura.

## Capitolo 1

Ora, nelle mescole bitume/polimero, la carica minerale più utilizzata è il carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); il talco (meta silicato di magnesio), viene impiegato in particolare quando la mescola deve resistere all'aggressione di soluzioni acide per acido cloridrico. A parità di granulometria e concentrazione nella mescola, il talco conferisce alla massa impermeabilizzante un potere rinforzante sensibilmente superiore di quello ottenibile con il carbonato. Ciò è dovuto alla natura e soprattutto alla forma lamellare che, investendo superfici più ampie della massa, ne condiziona i comportamenti alle diverse temperature.

# Capitolo 2

## La linea di produzione

In questo capitolo verrà data una prima introduzione del processo produttivo della membrana impermeabilizzante bitume-polimero. L'impianto della Novaglass s.r.l. si divide in una sezione discontinua, nella quale vengono prodotte il *compound* bituminoso e una sezione continua nella quale viene prodotta e rifinita la membrana.

### 2.1 La sezione discontinua

La sezione discontinua (fig. 2.1) si compone di quattro agitatori verticali con doppio albero, dove partendo dai vari componenti vengono prodotte le mescole, successivamente utilizzate nella sezione continua per la produzione e la finitura delle varie tipologie delle membrane.

I mescolatori primari possono essere classificati come semi-batch, perché il processo per la preparazione della miscela ha un tempo pressoché predefinito e quindi costante, ma il sistema è aperto agli ingressi di materia in quanto in vari componenti vengono inseriti secondo un determinato ordine temporale.

Proprio questa ordine prevede normalmente come priorità nella preparazione del *compound* l'aggiunta dei polimeri ad alto peso molecolare o comunque di quei composti che hanno più difficoltà a disperdersi. La precedenza, oltre ai componenti che presentano una maggior resistenza nella dispersione, viene data anche ai polimeri che, contendo acqua o solventi, evaporando potrebbero provocare un improvviso aumento di volume con pericolo di fuoriuscite di materiale all'esterno.

Infine sono immessi quei polimeri che presentano meno difficoltà di scioglimento.

I quattro mescolatori primari, per quanto riguarda il gruppo motori presentano alcune differenze; infatti il primario 1 (P1) è l'unico con un motore a velocità fissa e uno con due possibili velocità, una veloce e una lenta, anche se durante la produzione viene utilizzata prevalentemente la prima. Nel primario 2 (P2) è presente un sistema di due motori con *inverter*, che adatta la velocità di rotazione in base allo sforzo registrato all'albero, nei primari 3 e 4 sono invece presenti due coppie di motori a velocità fissa.

La temperatura dei miscelatori viene regolata con olio diatermico tramite una camicia esterna che avvolge gli agitatori P1 e P2 per un'altezza di circa 1,2 m e gli

## Capitolo 2

agitatori P3 e P4 completamente; normalmente mantenuta nell'intervallo 185°C–200°C in funzione del tipo di mescola.

Nella preparazione dei *compound* la carica del bitume viene eseguita in modo automatico attraverso delle pompe volumetriche rotative a lobi, sistema ideale per il trasporto di liquidi molto viscosi. La carica dei polimeri invece avviene manualmente, monitorata da un sistema di pesatura automatico. Proprio grazie a questo sistema, alla fine delle operazioni di carico è possibile verificare se le quantità di prodotto sono state caricate secondo specifica e salvare tutti i passaggi delle lavorazioni in una banca dati.

La carica minerale, a seconda del tipo di *compound* che si sta producendo, viene introdotta sui mescolatori primari o su quelli secondari, attraverso un sistema di pesatura automatico che preleva il  $\text{CaCO}_3$  da uno dei due serbatoi di stoccaggio, denominati  $\alpha$  e  $\beta$ , e li invia al mescolatore mediante trasporto su nastro ed elevatore a tazze. È molto importante che venga introdotto lentamente in modo da riuscire a disperderlo nella mescola, in caso contrario precipiterebbe sul fondo dell'agitatore, avendo un peso specifico più elevato del bitume.

Ultimata la procedura nei mescolatori primari, prima di effettuare il travaso nei mescolatori secondari, viene fatto un controllo visivo dello stato della mescola dall'operatore, mediante un prelievo per accertarsi della corretta dispersione degli additivi e l'omogeneità della massa.

Una volta pronta, la mescola viene trasferita in uno dei quattro mescolatori secondari orizzontali dove viene stoccata in attesa che venga utilizzata in una delle due linee produttive. In questi agitatori il *compound* viene mantenuto in agitazione mediante un sistema a coclea con una velocità di agitazione lenta, proprio per disperdere le cariche minerali aggiunte direttamente nei serbatoi secondari ed evitare separazioni di fasi. La temperatura degli agitatori secondari viene mantenuta nell'intervallo di 180-190°C, proprio con lo scopo di mandare nella sezione continua una mescola che abbia caratteristiche reologiche ottimali alla processabilità.



**Figura 2.1** Vista impianto sezione discontinua – Fase di carico mixer

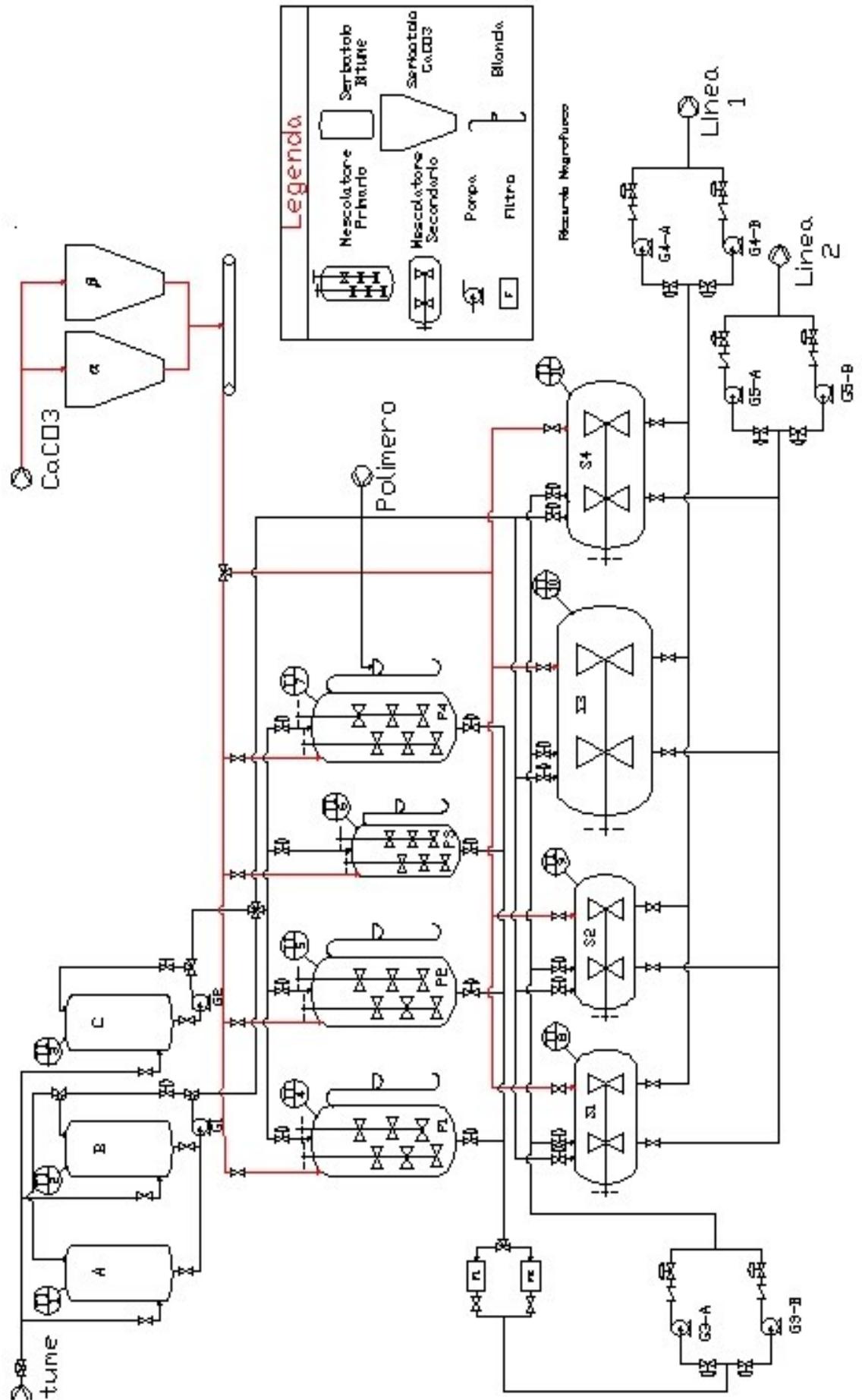


Figura 2.2 Schema di impianto della sezione discontinua

Schema di processo Novaglass - Parte discontinua

## 2.2 La sezione continua

La sezione continua (fig.2.3), rappresenta quella fase dove partendo dall'armatura e dalla mescola ottenuta nella sezione discontinua si ricava la membrana che verrà poi consegnata al cliente.

Le fasi più importanti di questa sezione risiedono nella vasca di impregnazione e nella zona di calandratura. Nella prima, l'armatura viene immersa nella mescola, trasportando una certa quantità di *compound* che formerà poi la massa impermeabilizzante della membrana, ma sarà la fase di calandratura che farà in modo di ottenere prodotti dello spessore e peso voluto.

Una parametro fondamentale per ottenere una buona bagnabilità dell'armatura sono le proprietà reologiche della mescola e soprattutto la viscosità. Infatti se la mescola avesse un valore troppo basso, l'armatura immersa nella vasca di impregnazione uscirebbe senza una quantità di *compound* sufficiente a garantire poi lo spessore e l'omogeneità della membrana, invece se avesse una viscosità troppo elevata, l'armatura sarebbe sottoposta ad uno sforzo troppo elevato durante l'impregnamento. L'armatura è mantenuta in tensione da un sistema di rulli i quali provvedono anche a dare una prima formatura alla membrana.

Ci possono essere anche dei cilindri con la funzione di goffatura della membrana; la goffatura consiste nell'incisione della faccia interna della membrana permettendo ad esempio, la produzione di membrana a maggior spessore ma con più bassa massa areica.

Per evitare lo sporcamento dei rulli e delle calandre, essi sono percorsi al loro interno a olio diatermico che li mantiene caldi per impedire che la mescola si attacchi al metallo del rullo.

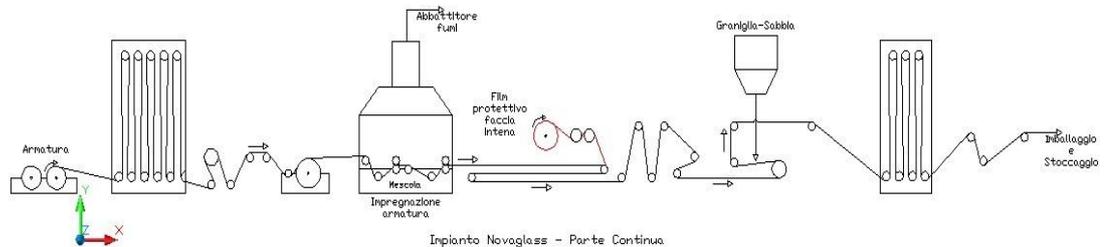
La membrana in uscita dalla calandratura deve essere raffreddata rapidamente per evitare le cinetiche che porterebbero alla separazione di fase, attive sulla mescola ad alte temperature in assenza di mescolamento; il sistema di raffreddamento si compone in un bagno di acqua in controcorrente rispetto alla direzione di scorrimento della membrana.

Dopo il raffreddamento la membrana viene rapidamente asciugata mediante aria calda e vi è applicato sulla faccia interna un film in polietilene che durante la messa in posa viene bruciato dall'operazione di sfiammatura.

Nella preparazione delle membrane la faccia esterna della membrana, per evitare che le due facce si saldino tra di loro durante l'arrotolamento, viene trattato con la sabbietta, con il talco oppure con le varie tipologie di scaglia di ardesia se la membrana è destinata come ultimo strato di copertura, per adempiere al duplice funzione di proteggere la membrana dai raggi UV e di permettere la calpestabilità della superficie senza riportare nessun danno.

## Il processo produttivo della membrana impermeabilizzante

Una volta completa la membrana viene imballata con un sistema completamente automatico e stoccata in un magazzino in attesa di essere caricata o spedita.



**Figura.2.3:** *Impianto Novaglass – Sezione continua*

## 2.3 Condizioni Operative

Nella descrizione delle condizioni operative è necessario distinguere la sezione discontinua da quella continua.

Nella sezione discontinua le condizioni operative sono determinate essenzialmente dalla tipologia di miscela, dalla periodo dell'anno, dalle caratteristiche dei mescolatori e dalle esigenze di produzione. Il processo richiede normalmente dalle tre alle quattro ore di mescolamento, ma esso dipende dalla temperatura



**Figura 2.4** *Vista della sezione continua*

dell'agitatore, dalla velocità di agitazione, dalla qualità delle materie prime e dalle lavorazioni precedenti, infatti ogni miscela richiede un ben determinato intervallo di temperatura per la sua lavorazione; se il mescolatore è "freddo", sarà richiesto un tempo maggiore di miscelazione.

## Capitolo 2

La velocità di agitazione risulta essere molto importante perché determina la dispersione del polimero e migliora lo scambio termico lungo le pareti del mescolatore. Nei mescolatori a doppia velocità si lavora normalmente alla massima velocità per migliorare la dispersione, invece nel mescolatore P2 dotato di *inverter* la velocità viene regolata automaticamente e quindi non si può agire manualmente sulla velocità di rotazione

La viscosità della miscela è un parametro molto importante nella lavorazione discontinua perché da essa dipende l'efficacia del mescolamento e gli sforzi a cui sono sottoposti i motori e gli alberi dei mescolatori. Per quanto riguarda le materie prime, un polimero cristallino richiederà temperature e tempi di lavorazione maggiori rispetto a un polimero amorfo; la presenza di acqua o solventi esigerà di un certo tempo per la sua eliminazione dal sistema, favorita anche dalle velocità di agitazione.

Nella sezione continua, invece come già detto, il parametro che regola le condizioni operative è la viscosità e quindi la temperatura, essendo la prima in funzione della seconda.

Se la viscosità è troppo bassa durante l'impregnazione si rischia di non far aderire alla stessa armatura una quantità di *compound* sufficiente per lo spessore e il peso della membrana richiesta.

In caso contrario se la viscosità della miscela è troppo elevata, oltre a una difficoltà maggiore nel trasporto tra la sezione discontinua e sezione continua, il rischio è di sottoporre l'armatura a uno sforzo eccessivo durante la lavorazione nella vasca di impregnazione.

L'intervallo di viscosità ottimale nella lavorazione di membrane è circa 6000-1000 cP.

# Capitolo 3

## Raccolta ed elaborazione dei dati

### 3.1 Raccolta dei dati di interesse

Come descritto in precedenza per condurre questo studio sui mescolatori primari, è stato deciso di seguire la variazione dell'assorbimento dei motori, quindi del loro consumo, e la variazione di temperatura per capire quale dei quattro agitatori presenta una dispersione maggiore di calore e quale raggiunge in un tempo inferiore la temperatura voluta.

Considerando il continuo aumento della richiesta di prodotti più economici rispetto a quelli di qualità superiore e quindi più costosi si è stabilito di impostare lo studio, quindi la raccolta dati durante la preparazione di un *compound* ad alta concentrazione di filler e inferiore di polimeri, come la EXT che presenta una percentuale di carbonato di calcio del 50%.

I mescolatori primari possiedono due tipologie di sonde per il controllo della temperatura: la prima a infrarossi posizionata sulla calotta superiore dell'agitatore con il raggio puntato sulla superficie della miscela è collegata al sistema di controllo automatico che registra tutte le misure effettuate ogni minuto; e una seconda tipologia immersa all'interno del *compound*.

A causa di un guasto presente nella linea che collega il termometro a IR e il sistema di controllo si è subito notato la mancanza delle temperature del mescolatore primario nel registro di controllo e quindi immediatamente capito l'impossibilità di condurre lo studio elaborando i dati registrati dal sistema di controllo. Per poter effettuare il lavoro in modo preciso aggirando il problema riguardante il primo agitatore primario è stato eseguito uno studio rilevando manualmente le potenze assorbite dai motori e le temperature durante la preparazione di una EXT a intervalli regolari di 5 minuti.

Vista la necessità di dover procedere al rivelamento manuale, si è deciso di acquisire sia il valore della temperatura che dell'assorbimento dei motori da ulteriori strumenti precisamente un termometro a laser e una pinza amperometrica (solo per il mixer 1 a causa dell'impossibilità di collegare la pinza nei quadri elettrici degli altri mescolatori), proprio per verificare l'attendibilità dei valori derivanti dai vari strumenti predisposti per le rilevazioni.

Ovviamente prima di procedere con la raccolta dati, sono state rilevate tutte le caratteristiche dei vari miscelatori e dell'impianto nella sezione discontinua.

### 3.2 Dati mescolatori

Osservando le dimensioni dei quattro *mixer*, notiamo subito che le dimensioni dei mescolatori P1, P2, P4 risultano identiche fra di loro (fig. 3.1) con unica differenza l'altezza delle camice di riscaldamento in quanto nel primo e nel secondo misura 1,2 m mentre nel quarto agitatore ricopre l'intera parete. Il terzo *mixer* risulta invece più piccolo (fig. 3.2) rispetto ai primi tre con dei vantaggi e degli svantaggi derivanti proprio dalla minor grandezza che verranno spiegati successivamente.

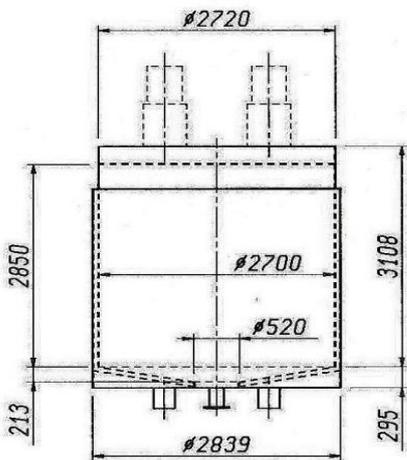


Figura 3.1 Schema mescolatore P1, P2 e P4

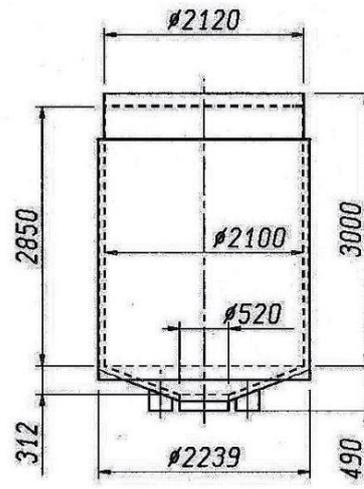


Figura 3.2 Schema mescolatore P3

Ciascun agitatore possiede due rotori verticali, ma solo il P2 ha dei motori dotati di inverter; gli altri tre hanno dei motori a velocità fissa. Il primo *mixer* possiede un motore da 90 KW e uno da 75 KW, il secondo possiede due motori da 90 KW, il terzo invece possiede un motore da 55 KW e uno da 75 KW e per finire il quarto *mixer* possiede un motore da 90 KW e uno da 75 KW.

Una volta completata la raccolta dei dati sono stati costruiti i grafici con i profili di temperatura rilevati durante la preparazione della miscela (da fig. 3.3 a fig. 3.6) con i seguenti termometri:

- Termometro Ir posizionato nella calotta superiore degli agitatori
- Termometro immerso all'interno della miscela
- Termometro laser manuale utilizzato dagli operatori

## Raccolta ed elaborazione dei dati

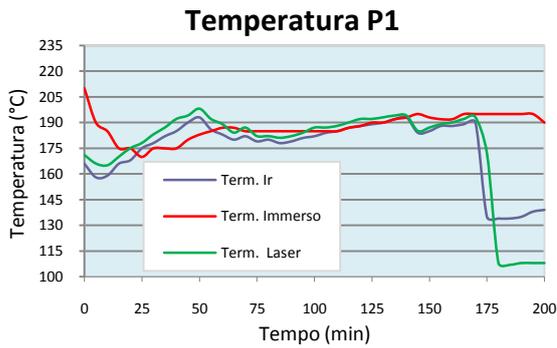


Figura 3.3 Profilo della temperatura rilevata con diversi termometri nel mescolatore P1

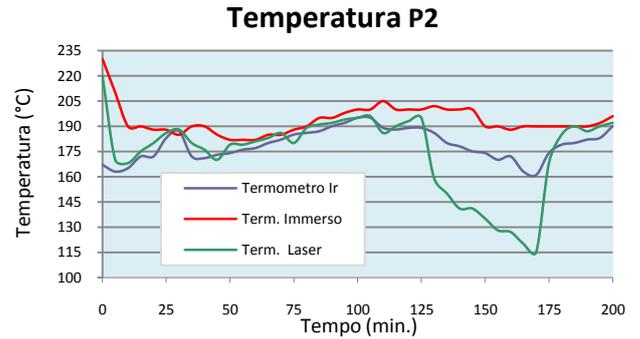


Figura 3.4 Profilo della temperatura rilevata con diversi termometri nel mescolatore P2

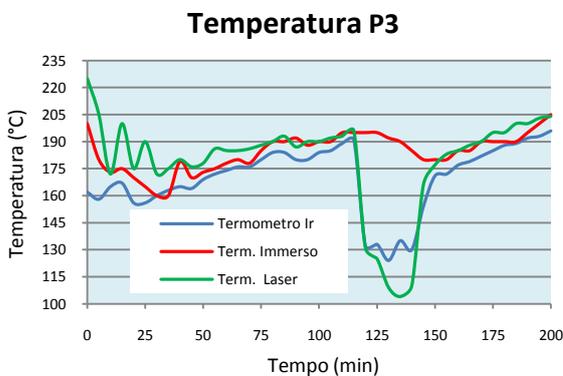


Figura 3.5 Profilo della temperatura rilevata con diversi termometri nel mescolatore P3

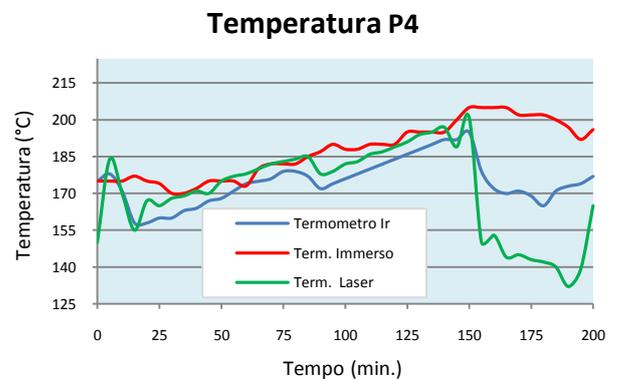


Figura 3.6 Profilo della temperatura rilevata con diversi termometri nel mescolatore P4

Come abbiamo fatto con i profili di temperatura di seguito mostriamo i grafici con i profili dell'assorbimento dei motori durante la preparazione delle stesse mescole nei quattro *mixer* (da fig. 4.7 a fig. 4.10) rilevati da:

- Una pinza amperometrica collegata al quadro elettrico (solo per il mescolatore P1)
- Sala controllo (box) utilizzata dagli operatori durante le lavorazioni

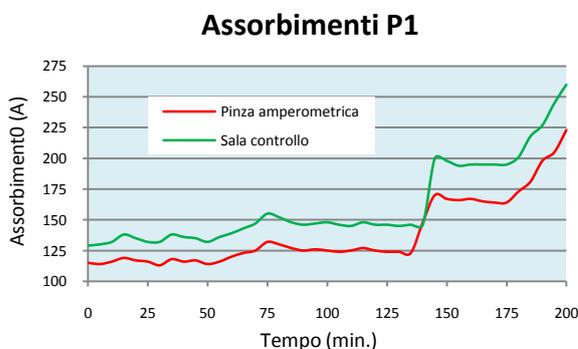


Figura 3.7 Profilo dell'assorbimento dei motori rilevata nel mescolatore P1

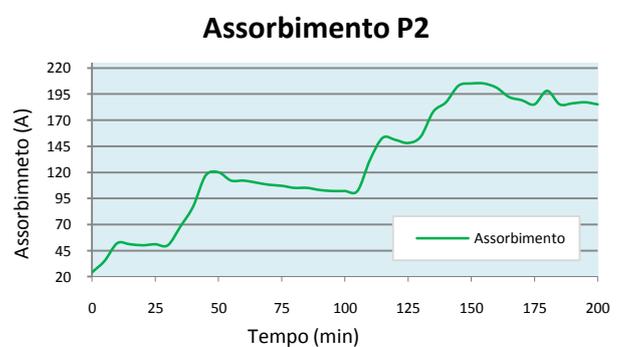
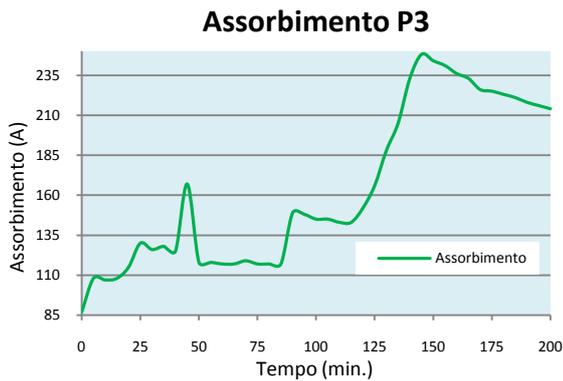
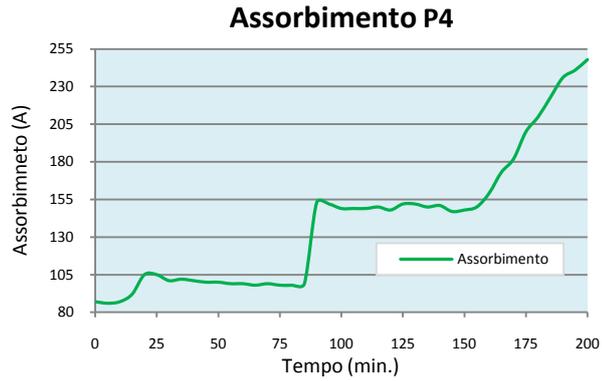


Figura 3.8 Profilo dell'assorbimento dei motori rilevata nel mescolatore P2



**Figura 3.9** Profilo dell'assorbimento dei motori rilevata nel mescolatore P3



**Figura 3.10** Profilo dell'assorbimento dei motori rilevata nel mescolatore P4

### 3.3 Considerazioni sul profilo della temperatura

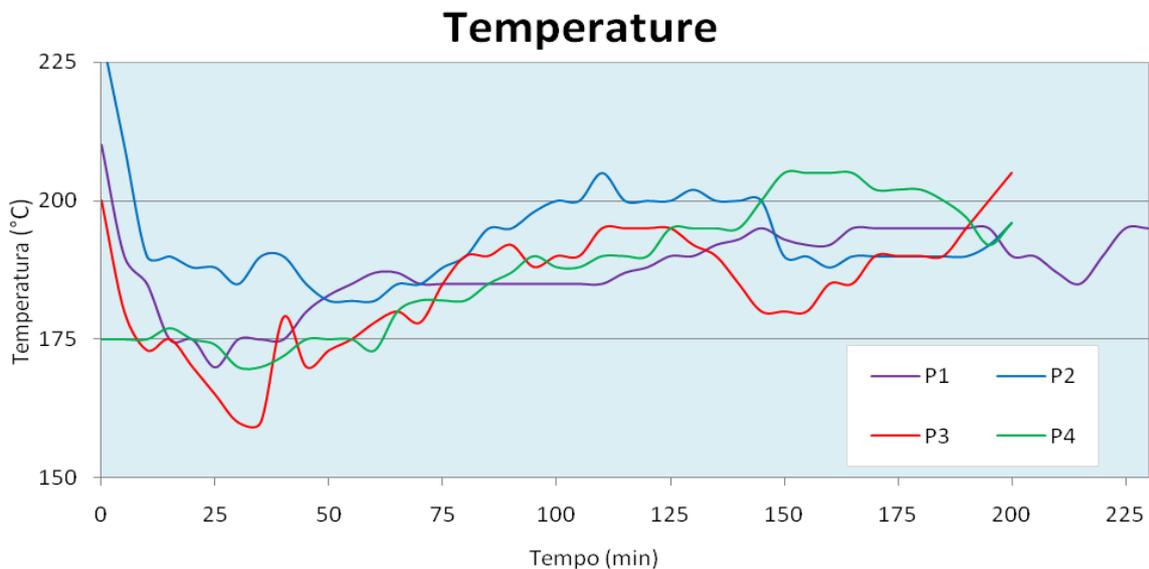
Una volta raccolti ed elaborato i dati, si riscontra immediatamente che le tre tipologie di termometri riportano temperature con andamenti completamente diversi, soprattutto verso il termine dell'esperienza. Un andamento simile si è riscontrato tra il termometro Ir e quello laser in quanto misurano entrambi la temperatura sulla superficie del *compound* presente all'interno del miscelatore e sono fortemente influenzati da vapori e sospensioni presenti durante la preparazione.

Questo si evidenzia subito sull'andamento della curva dei due termometri, soprattutto nel momento in cui viene inserito il  $\text{CaCO}_3$ , il quale si trova ad una temperatura notevolmente inferiore alla miscela e sottoforma di granuli molto fini; crea una nuvola di sospensione all'interno dell'agitatore che porta il segnale dei due termometri ad una variazione negativa superiore ai  $90^\circ\text{C}$ .

L'andamento della temperatura rilevata dal misuratore immerso nella miscela presenta invece un profilo più lineare senza nessun sbalzo dovuto a vapori e sospensioni, in quanto rileva la temperatura media della massa impermeabilizzante la quale è poco influenzata dalla presenza di solidi non ancora dispersi.

Una diminuzione del segnale contemporanea a tutti e tre gli strumenti si nota poco dopo l'inizio della lavorazione quando nel bitume ad una temperatura di circa  $200^\circ\text{C}$  (temperatura ottimale per la preparazione del *compound*, avendo la maggior dispersione) vengono inseriti i primi polimeri presenti alla temperatura ambiente e quindi altamente inferiore a quella del bitume.

Proprio per tutti i disturbi rilevati nel termometro IR e quello laser, durante le lavorazioni nella sezione continua gli operatori si regolano per l'immissione dei polimeri nei miscelatori alla misura fornita dal termometro immerso all'interno del *compound*.



**Figura 3.11** Profilo temporale della temperatura dei quattro mescolatori primari

Osservando tutti i profili delle temperature rilevate dei termometri immersi (fig. 3.11), si nota immediatamente che il *mixer 2* tende a raggiungere in un minor tempo la temperatura di 200° C dopo il calo dovuto all'immissione dei polimeri contrariamente al *mixer 1* che non riesce a superare il valore dei 195°C.

I mescolatori 3 e 4 invece raggiungono la temperatura dei 200 °C anche se con un ritardo rispetto al 2 di circa 50 minuti per il quarto e di 90 m minuti per il terzo.

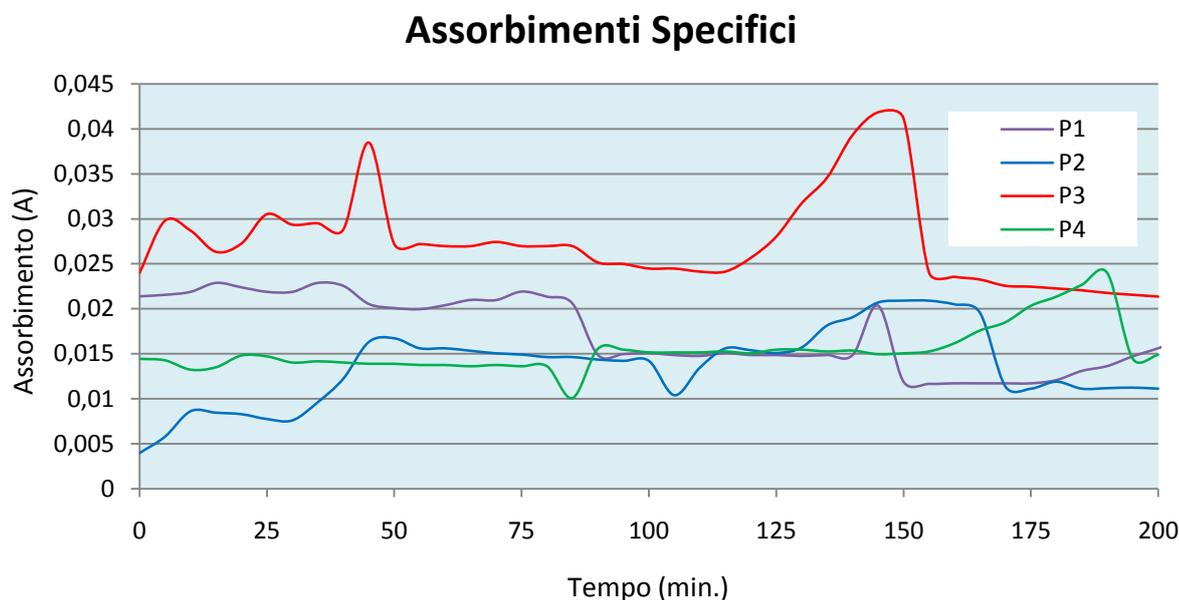
Oltre che per l'assenza dell'*inverter* il ritardo del *mixer 3* è giustificato dalle differenze geometriche (notevoli) rispetto al due. Invece, il primo mescolatore e il quarto presentano come unica differenza nei confronti del secondo l'altezza delle camicie di riscaldamento, che risultano di 1,2 m nel P2 di 0,8 m nel P1 e per tutta l'altezza dell'agitatore nel P4.

Questa differenza migliora la distribuzione del calore nel *mixer* dotato di *inverter* anche se con una superficie di scambio termico molto inferiore; nei due mescolatori senza *inverter* la superiorità nello scambio termico del mescolatore deriva dalla maggior altezza della camicia.

È da notare che normalmente tutti mescolatori vengono riempiti per due terzi dell'altezza totale, quindi il mescolatore P4 raggiungerebbe gli stessi risultati diminuendo di circa un terzo l'altezza della camicia.

### 3.4 Considerazioni sul profilo dell'assorbimento

Osservando i vari profili dell'assorbimento (fig. 3.12) dei vari motori si nota subito un andamento molto simile tra i quattro mescolatori (anche se scostati tra di loro).



**Figura 3.12** Profilo temporale degli assorbimenti dei motori dei quattro mescolatori primari

Un grosso aumento di assorbimento, dopo quello iniziale dovuto all'introduzione dei polimeri, si registra dopo 75-150 minuti (fig. 4.2 - 4.4 - 4.6 - 4.8), dovuto all'inversione di fase. Durante questo periodo nella fase di miscelazione, il rigonfiamento della massa polimerica corrisponde un forte aumento della viscosità del sistema.

Questo punto è molto importante nella preparazione della mescola perché individua il momento in cui il polimero si rigonfia, per l'eventuale assorbimento delle sostanze malteniche a più basso peso molecolare, a lui affini ed in seguito l'effetto delle alte temperature e di elevati sforzi di taglio permette anche l'assorbimento di quelle più pesanti. Mediante l'azione meccanica, quindi, componenti che potrebbero interagire tra loro, a causa delle intense forze intermolecolari, determinano una modifica strutturale della fase bituminosa con un miglioramento delle caratteristiche del *compound*.

Il maggior assorbimento si ottiene comunque verso il termine della lavorazione, precisamente con l'introduzione della carica, in quanto rappresentando il 50% dell'intera mescola la quantità non è indifferente.

Eseguendo un confronto tra i consumi dei quattro mescolatori riportando i valori in assorbimento per chilogrammo di mescola (fig. 3.12), si nota immediatamente che i

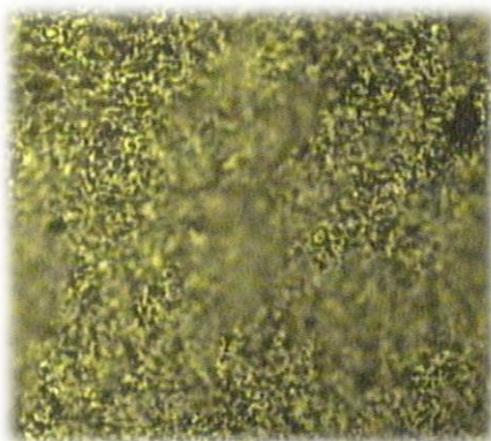
## Raccolta ed elaborazione dei dati

mescolatori 1 e 4 hanno un andamento molto simile, anche se sfasato di circa 40 minuti a causa del diverso tipo di raffreddamento.

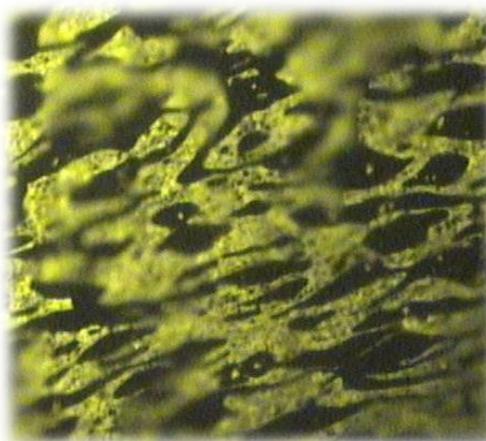
Il terzo agitatore invece presenta i consumi più alti, con picchi che raggiungono valori equivalenti a due volte i dati degli altri *mixer*. Questo consumo, si spiega dal fatto che tutti e quattro i mescolatori montano la medesima girante, con un diametro di 690 mm, ma a differenza dei mescolatori P1 P2 e P4 che presentano un diametro dell'apparecchiatura di 2720 mm il P3 presenta un diametro di 2120 mm.

Questa differenza di diametro porta a una diminuzione della distanza tra la girante e la parete del serbatoio nel *mixer* 3 di 300 mm rispetto al distacco di 1015 mm presente negli altri tre, con un notevole aumento di sforzo e quindi di assorbimento da parte dei motori.

L'aumento di sforzo dovuto alla minor distanza, se da un lato porta ad un consumo maggiore di energia elettrica, dall'altra favorisce la dispersione del polimero e quindi porta alla formazione di un prodotto di qualità superiore, questo si dimostra dall'elevata viscosità (vedi cap. 3.8) misurata nel preparato del mescolatore primario 3.



**Figura 3.13** Immagine al microscopio di una buona dispersione del polimero nel bitume



**Figura 3.14** Immagine al microscopio di una scarsa dispersione del polimero nel bitume

L'agitatore P2 grazie all'*inverter* è quello che presenta i consumi inferiori riducendoli anche di 2-3 volte rispetto al P3, questo perché riesce a regolare i giri al minimo possibili rispetto allo sforzo registrato all'albero. Rispetto al mescolatore 3 si registrano anche valori inferiori di 5-6 volte. Sarà argomento del paragrafo 3.9 verificare il risparmio che si otterrebbe inserendo gli *inverter* su tutti i mescolatori primari della Novaglass

### 3.5 Qualità delle mescole

Confrontando i profili delle temperatura (fig. 4.9) e degli assorbimenti (fig. 4.10), abbiamo compreso che il *mixer* che raggiunge prima la temperatura d'esercizio dopo un calo dovuto all'immissione del materiale più freddo è il P2 grazie al sistema dell'*inverter* e quello che impiega più tempo è il P1, e per quanto riguarda gli assorbimenti quello che consuma maggior energia è il terzo mescolatore, invece il più economico dal punto di vista dell'assorbimento è ancora il secondo.

Un punto molto importante da valutare è la qualità della mescola prodotta, per verificare se le caratteristiche tra le varie mescole "EXT" sono simili o presentano alcune differenze.

Per fare questo paragone è stato necessario raccogliere le analisi delle varie EXT prodotte nei diversi mescolatori degli ultimi mesi per evitare qualsiasi anomali sulla mescola dovuta a fattori casuali che potrebbero aver influenzato le caratteristiche.

Per la precisione abbiamo raccolto i dati relativi alle analisi effettuate dall'inizio dell'anno ottenendo i seguenti risultati (in rosso sono espressi i valori medi di ogni analisi)

<b>MESCOLATORE PRIMARIO 1</b>					
<b>VISCOSITA' (cP)</b>		<b>PENETRAZIONE (mm)</b>		<b>DUREZZA (SHORE"00")</b>	
<b>180°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>80°</b>
6500	16	89	84	60	44
6500	15	92	88	62	53
7900	21	80	78	50	30
7950	20	95	91	65	52
9700	19	100	83	69	48
6200	25	115	85	51	38
<b>7458</b>	<b>19</b>	<b>95</b>	<b>85</b>	<b>60</b>	<b>44</b>

**Tabella 3.1** Valori di viscosità, penetrazione e durezza delle varie mescola prodotta dal mescolatore primario 1  
– In nero i valori medi

<b>MESCOLATORE PRIMARIO 2</b>					
<b>VISCOSITA' (cP)</b>		<b>PENETRAZIONE (mm)</b>		<b>SHORE“00”</b>	
<b>180°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>80°</b>
8300	16	74	92	76	64
11800	16	75	91	64	51
8600	14	78	94	66	53
8200	18	85	85	63	49
8500	18	85	85	63	49
9700	17	84	92	65	55
<b>9183</b>	<b>17</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>66</b>	<b>54</b>

**Tabella 3.2** Valori di viscosità, penetrazione e durezza delle varie mescola prodotta dal mescolatore primario 1–  
In nero i valori medi

<b>MESCOLATORE PRIMARIO 3</b>					
<b>VISCOSITA' (cP)</b>		<b>PENETRAZIONE (mm)</b>		<b>SHORE“00”</b>	
<b>180°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>80°</b>
13000	19	95	90	68	54
9500	18	88	87	64	55
<b>11250</b>	<b>19</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>66</b>	<b>55</b>

**Tabella 3.3** Valori di viscosità, penetrazione e durezza delle varie mescola prodotta dal mescolatore primario 1–  
In nero i valori medi

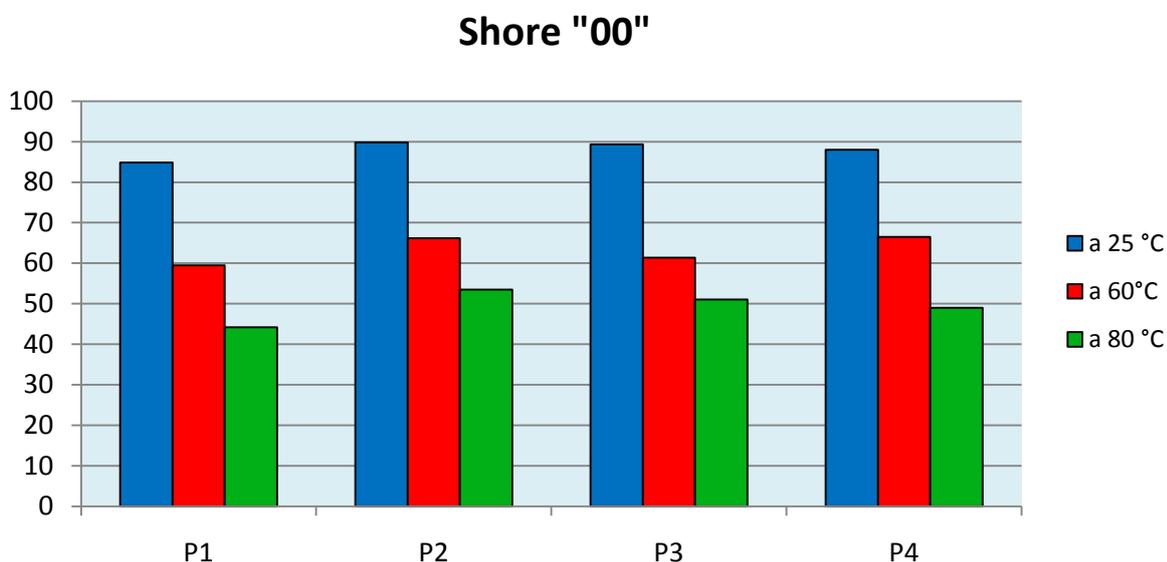
<b>MESCOLATORE PRIMARIO 4</b>					
<b>VISCOSITA' (cP)</b>		<b>PENETRAZIONE (mm)</b>		<b>SHORE“00”</b>	
<b>180°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>25°</b>	<b>60°</b>	<b>80°</b>
7100	18	88	90	67	52
8050	14	79	86	66	46
<b>7575</b>	<b>16</b>	<b>84</b>	<b>88</b>	<b>67</b>	<b>49</b>

**Tabella 3.4** Valori di viscosità, penetrazione e durezza delle varie mescole prodotta dal mescolatore primario 1–  
In nero i valori medi

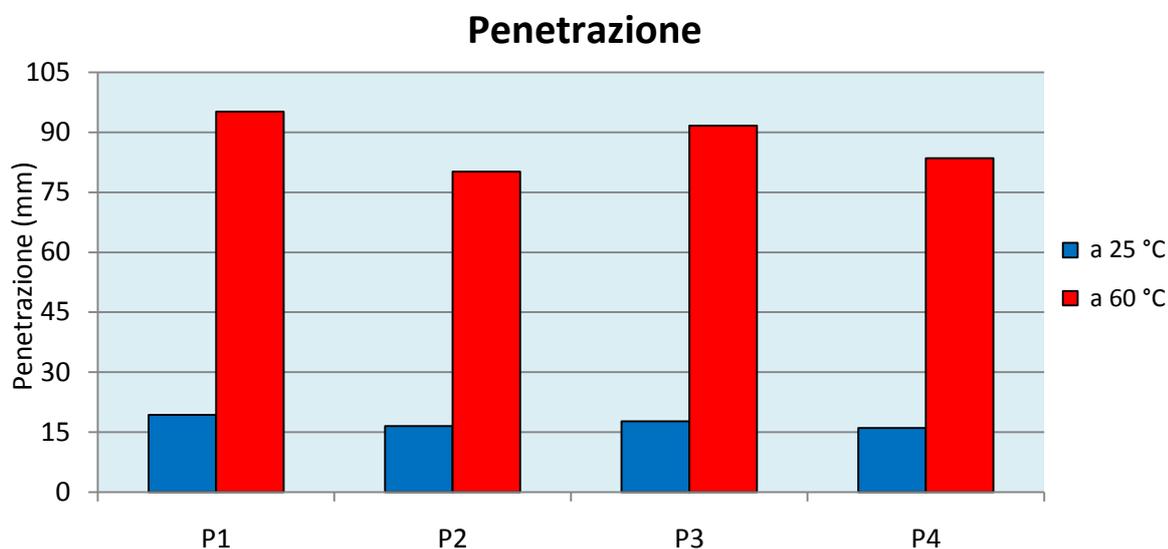
### 3.5.1 La penetrazione e la durezza

La penetrazione e la durezza (shore “00”) sono dei parametri molto importanti per la decisione del materiale da collocare in un struttura in quanto stabiliscono quanto più stabile è un materiale soprattutto ad elevate temperatura.

Queste due caratteristiche sono inversamente proporzionali tra di loro, in quanto più rilevante è il valore della durezza ad una certa temperatura, minore sarà quello rilevato nella prova di penetrazione. Una minor penetrazione e quindi una maggior durezza sono dovuti alla presenza di polimeri cristallini come gli isotattici.



**Figura 3.16** Valori medi delle durezza delle varie mescole a 25°C, 60°C e 80°C



**Figura 3.15** Valori medi delle penetrazioni delle varie mescole a 25°C e 60°C

Come si nota le mescole con valori più elevati di durezza (fig. 4.15) e inferiori di penetrazione (fig. 4.16) sono quelle del secondo mescolatore e subito a seguire quella del terzo.

Come detto in precedenza un valore considerevole di durezza, deriva dalla dispersione di polimeri cristallini, come per esempio gli isotattici. I polimeri

isotattici, sono però i più complicati da disperdere, infatti nella preparazione dell'EXT sono i primi ad essere introdotti proprio per dar tempo agli agitatori di discioglierli adeguatamente.

Più rilevante invece la diversità nei valori della penetrazione dove il secondo agitatore prevale sul terzo.

Questi risultati mostrano che le mescole con la miglior dispersione e quindi di miglior qualità risultano quelle prodotte nei P2 e P3. Dispersione ottenuta nel secondo agitatore dall'azione dell'*inverter*, invece nel terzo dalla maggiore resistenza che oppone la massa impermeabilizzante nei pressi della girante a causa l'inferiore spazio presente tra la parete e la girante rispetto agli altri mescolatori primari.

### 3.5.2 La viscosità

La viscosità, rappresenta un elemento fondamentale per la valutazione qualitativa della mescola, infatti aumenta con l'aumentare della dispersione del polimero nel *compound*.

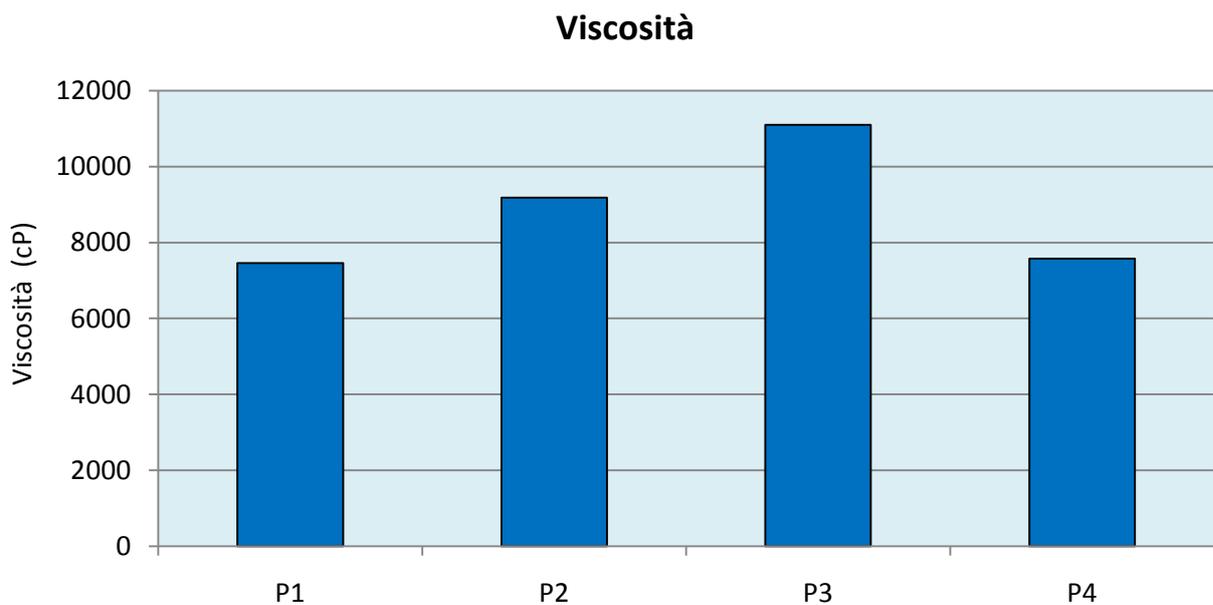


Figura 3.17 Valori medi della viscosità delle varie mescole

Come si nota la mescola con un valore più alto di viscosità è quella preparata nel mixer 3, con valori che differenziano il *compound* del secondo mescolatore poco inferiori ai 2000 cP.

Questo valore spiega l'elevato assorbimento dei motori del terzo agitatore ed è giustificato dall'elevata dispersione dei polimeri all'interno della massa impermeabilizzante dovuto alla minor distanza tra girante e parete del *mixer*.

La differenza dei valori del primo mescolatore rispetto al secondo è dovuto all'azione all'*inverter*, che come già detto in precedenza, riesce ad ottimizzare il numero di giri in basa allo sforzo rilevato.

La differenza di camicia presente tra il P1 e il P4, come si nota a i valori non porta nessuna differenza sostanziale alle viscosità.

### 3.6 Miglioramenti dati dall'*inverter*

Come si è precedentemente dimostrato, le mescole dalla qualità superiore sono prodotte nei mescolatori primari 2 e 3, ma confrontandoli con i dati relativi ai consumi dei motori si nota che questi due agitatori primari sono rispettivamente quelli che consumano di meno e di più come energia elettrica.

L'unica soluzione per ridurre i consumi del P3 senza andar a penalizzare la qualità della mescola e senza modificare la caratteristiche geometriche del mescolatore è quella che ipotizza l'inserimento dell'*inverter* anche nel terzo agitatore, in modo da regolare il numero di giri in funzione allo sforzo rivelato e ridurre al minimo i consumi in eccesso.

Raccogliendo i consumi totali rilevi durante la preparazione delle mescole si riesce a calcolare il costo di corrente elettrica per ogni tonnellata di mescola di ogni mescolatore.

<b>MIXER 1</b>		<b>MIXER 2</b>		<b>MIXER 3</b>		<b>MIXER4</b>	
Tempo di lavoro 3h 50'		Tempo di lavoro 3h 20'		Tempo di lavoro 3h 20'		Tempo di lavoro 3h 20'	
<b>QUANTITA'</b>	16,64 t	<b>QUANTITA'</b>	16,62	<b>QUANTITA'</b>	10,02	<b>QUANTITA'</b>	16,66
<b>MESCOLA</b>		<b>MESCOLA</b>	t	<b>MESCOLA</b>	t	<b>MESCOLA</b>	t
<b>A*min</b>	41858	<b>A*min</b>	25963	<b>A*min</b>	32763	<b>A*min</b>	27803
<b>A*h</b>	698	<b>A*h</b>	433	<b>A*h</b>	546	<b>A*h</b>	463
<b>Volt</b>	380	<b>Volt</b>	380	<b>Volt</b>	380	<b>Volt</b>	380
<b>€/KWh</b>	0,115	<b>€/KWh</b>	0,115	<b>€/KWh</b>	0,115	<b>€/KWh</b>	0,115
<b>KWh</b>	265	<b>KWh</b>	164	<b>KWh</b>	207	<b>KWh</b>	176
<b>€ spesi</b>	30,399	<b>€ spesi</b>	18,855	<b>€ spesi</b>	23,794	<b>€ spesi</b>	20,191
<b>€ spesi/t</b>	1826,539	<b>€ spesi/t</b>	1,134	<b>€ spesi/t</b>	2,374	<b>€ spesi/t</b>	1,212
<b>t prodotte/anno</b>	12983	<b>t prodotte/anno</b>	13683	<b>t prodotte/anno</b>	4042	<b>t prodotte/anno</b>	11714
<b>€ spesi/anno</b>	23713965	<b>€ spesi/anno</b>	15522	<b>€ spesi/anno</b>	9594	<b>€ spesi/anno</b>	14194

Tabella 3.5 Produzione e consumi dei vari mescolatori

Noti i consumi e i vari costi relativi ad ogni mescolatore è possibile calcolare i vari risparmi ottenibili con il montaggio degli *inverter* anche nei mescolatori privi di

## Raccolta ed elaborazione dei dati

codesto sistema. Per poter far un primo paragone, è opportuno confrontare il secondo mescolatore con il primo, che differiscono solo per la presenza dell'*inverter*, e con gli opportuni calcoli possiamo calcolare un risparmio del 37% in consumi energetici tra l'agitatore P2 e il P1 e una produzione di mescola all'anno superiore del 5,39%. Ipotizzando di ottenere un risparmio proporzionale su un mescolatore primario tre e quattro dotato di *inverter* rispetto a quello esistente si calcola:

<b>MIXER 1</b>		<b>MIXER 3</b>	
RISPARMIO DEL MIXER 2 RISPETTO AL MIXER 1	<b>37,89%</b>	RISPARMIO DEL MIXER 2 RISPETTO AL MIXER 1	37,89%
€/t NEL MIXER 1 SENZA INVETER	<b>1,827</b>	€/t NEL MIXER 3 SENZA INVETER	2,374
	€/t		€/t
€/t NEL MIXER 1 CON INVERTER	<b>1,134</b>	€/t NEL MIXER 3 CON INVERTER	1,474
	€/t		€/t
RISPARMIO ALLA t NEL MIXER 1	<b>0,692</b>	RISPARMIO ALLA t NEL MIXER 3	0,899
	€/t		€/t
RISPARMIO ALL'ANNO NEL MIXER 1 (CON INVERTER)	<b>8.986 €</b>	RISPARMIO ALL'ANNO NEL MIXER 3 (CON INVERTER)	3.636 €
PRODUZIONE ALL'ANNO NEL MIXER 1 (CON INVERTER)	<b>13.683 t</b>	PRODUZIONE ALL'ANNO NEL MIXER 3 (CON INVERTER)	4.260 €
RISPARMIO ALL'ANNO ( CON INCREMENTO DI PRODUZIONE)	<b>9.470 €</b>	RISPARMIO ALL'ANNO (CON INCREMENTO DI PRODUZIONE)	3.832 €

### **MIXER 4**

RISPARMIO DEL MIXER 2 RISPETTO AL MIXER 1	37,89 %
€/t NEL MIXER 1 SENZA INVETER	1,212 €/t
€/t NEL MIXER 1 CON INVERTER	0,753 €/t
RISPARMIO ALLA t NEL MIXER 1	0,459 €/t
RISPARMIO ALL'ANNO NEL MIXER 1 (CON INVERTER)	5.379 €
PRODUZIONE ALL'ANNO NEL MIXER 1 (CON INVERTER)	12.345 €
RISPARMIO ALL'ANNO ( CON INCREMENTO DI PRODUZIONE)	5.669 €

**Tabella 3.6** Risparmi ottenibili teoricamente nei vari mescolatori con l'inserimento dell'*inverter*

<b>INCREMENTO DI PRODUZIONE</b>	<b>5,39 %</b>
<b>RISPARMIO IN ENERGIA ELETTRICA ALL'ANNO</b>	<b>18000 €</b>
<b>GUADAGNO TOTALE ALL'ANNO</b>	<b>18971 €</b>
<b>(CONSIDERANDO INCREMENTO DI PRODUZIONE)</b>	

## Capitolo 3

**Tabella 3.7** *Risparmi ed incrementi di produzione ottenibili teoricamente con l'inserimento dell'inverter*

Come si osserva, il solo montaggio dell'*inverter* in tutti i *mixer* primari porterebbe a un guadagno totale di circa 18971 €/annui.

Da tener conto però che questo risparmio è dato dal mescolatore uno con un guadagno pari a 9470 €, seguito dal *mixer* 4 con un 5669 € e per ultimo dal terzo con un risparmio all'anno di 3832€.

Considerando che l'investimento per una coppia di motori dotati di *inverter* è di circa 10000 €, si può affermare che l'azienda potrebbe ammortizzare il costo di tre sistemi in meno di un anno, scelta consigliata perché il periodo di ammortamento aumenterebbe notevolmente nel caso di modifica di uno solo o due *inverter*.

# Conclusioni

A seguito dello studio svolto sui quattro mescolatori primari della Novaglass s.r.l., si è dimostrato come le quattro apparecchiature avendo caratteristiche geometriche diverse riportassero dei rendimenti molto differenti.

Si è riscontrato il minor consumo energetico dei motori nel mescolatore P2, questo grazie all'*inverter*; sistema che regola i numeri di giri della girante in funzione dello sforzo registrato. Oltre alla diminuzione dei consumi, è stato constatato che la temperatura di esercizio viene raggiunta più rapidamente rispetto agli mescolatori.

La miglior qualità nelle mescole, definita come una miglior dispersione dei polimeri nel *compound*, è stata, tuttavia, riscontrata nel mescolatore P3. La ragione è legata a questioni di tipo geometrico: infatti, l'agitatore P3, pur avendo un'identica tipologia di girante rispetto agli altri mescolatori presenta una minor distanza tra girante e parete laterale dell'agitatore. Questo genera un maggiore sforzo tangenziale che favorisce una dispersione dei polimeri superiore, pur comportando un aggravio nei consumi.

Dai risultati ottenuti, risulterebbe quindi vantaggioso sia ridurre la distanza tra girante e parete per aumentare la qualità delle mescole, sia l'inserimento dell'*inverter* per ridurre i consumi. Tuttavia la riduzione dello spazio porta anche ad un aumento dei consumi. Tuttavia, poiché l'avvicinamento della girante alla parete (cioè l'utilizzo di una girante di maggiori dimensioni) causerebbe anche un aumento dei consumi, si consiglia la programmazione di un'ulteriore studio per determinare il punto di ottimo tra aumento della qualità delle mescole e aumento dei consumi in funzione della distanza tra girante e parete del serbatoio.

Un'ulteriore modifica consigliata e sicuramente meno costosa è l'aumento della superficie di scambio tra serbatoio e camicia esterna nel reattore P1 per poter raggiungere la temperatura di esercizio in minor tempo. Per quel che riguarda P4, invece poiché il mescolatore non viene mai riempito completamente sarebbe sufficiente una camicia che non ricopre l'intero reattore.

Considerando che il bitume viene stoccato ad una temperatura di 160-165°C e lavorato ad una temperatura di circa 190°C, risulterebbe sicuramente conveniente predisporre l'impianto di uno scambiatore di calore per poter portare il bitume alla temperatura di lavorazione prima di immetterlo negli agitatori, anziché scaldarlo al loro interno. Uno studio effettuato all'interno dell'Azienda ha riscontrato un intervallo di tempo di circa 30-40 minuti impiegati per raggiungere la temperatura richiesta, quando il riscaldamento avviene all'interno del reattore.

È da far presente che lo studio effettuato è stato condotto con una miscela EXT molto ricca di  $\text{CaCO}_3$ , e per tanto si consiglia l'azienda, prima di ogni possibile modifica di impianto e investimento, un ulteriore studio con un'altra tipologia di miscela per confermare i risultati ottenuti.

# Riferimenti Bibliografici

- Materiale interno Novaglass S.r.l.
- Berlincioni, S.(2004). *Proprietà reologiche di bitumi modificati con polimeri olefinici*. Tesi di laurea in Ingegneria Chimica, Facoltà di Ingegneria,Università di Pisa
- Ravaioli, S. (2000). *Bitume modificato: relazione generale*,GPM, Siteb, Roma (Italy).
- Boschiero, A. (2006). *Preparazione e caratterizzazione di membrane bitume-polimero*. Tesi di laurea in Ingegneria Chimica, Facoltà di Ingegneria, Università di Pisa.

## Siti web

- <http://www.novaglass.com>
- <http://www.nordbitumi.it>
- <http://pslc.ws>



# Ringraziamenti:

Sono molte le persone che desidero ringraziare al termine di questi tre anni di cammino impegnativi, ma ricchi di soddisfazione.

Desidero ringraziare il Chiar.mo Prof. Fabrizio Bezzo per la sua collaborazione nella realizzazione di questa tesi.

Un sentito ringraziamento all'azienda Novaglass s.r.l. per avermi ospitato e permesso di lavorare in un ambiente fantastico mettendomi a disposizione strumenti e assistenza, un particolare grazie va all'Ing. Franco Bevilacqua e al Dott. Luciano Vacilotto per la loro disponibilità, collaborazione e professionalità.

All'interno dell'azienda desidero ricordare l'intera squadra di Ricerca e Sviluppo tra cui Fabio e la Valentina che mi hanno tenuto compagnia in laboratorio per più di tre mesi, e tutti i dipendenti in particolare tutti gli operai delle miscele e dell'officina che mi hanno sopportato per giorni rispondendo a tutti i miei quesiti.

Ringrazio con tutto il cuore i miei genitori, mamma Franca e papà Renzo, che mi hanno sostenuto economicamente, ma anche moralmente durante il mio cammino e permesso di dedicarmi a varie attività di volontariato e non, senza le quali mi sarei potuto laureare sicuramente con qualche mese di anticipo.

Un grazie anche ai miei fratelli Enrico e Stefano che tra discussioni animate e tranquille mi hanno accompagnato fin dalla nascita.

Un grazie e un saluto a tutti i miei compagni di corso che con la loro simpatia e cordialità mi hanno permesso di passare al meglio questi anni, rendendo meno pesante lo studio e lo svolgimento degli esami, grazie a cene e feste, tra cui Enrico De Tuoni che ringrazio per la sua compagnia e consulenza durante questi tre mesi di tirocinio.

Ringrazio anche tutti i miei amici da Candelù tra cui tutti i ragazzi della "PITONA SUMMER" ed i nuovi amici di Oderzo e Lutrano (e guai a dire che sono tutti di Oderzo perché si offendono) per la compagnia di tutti questi anni e per avermi sopportato, in particolar modo durante le sessioni d'esame.

Desidero inoltre ringraziare l'ARCA e tutti i suoi dipendenti per questi svariati anni di lavoro che mi hanno permesso di crescere e maturare notevolmente.

Infine ringrazio tutte quelle persone che non ho ricordato, ma che mi hanno accompagnato in tutti questi anni di studio e divertimento.

