



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

*Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali*

Tesi di Laurea Triennale

**“MODELLO PREVISIONALE PER I  
PARAMETRI MACCHINA, DIMENSIONALI ED  
ENERGETICI NEL PROCESSO DI PRODUZIONE  
DEL TUBO CORRUGATO IN POLIETILENE”**



**Relatore:** Ch.mo Prof. G. Berti

**Laureando:** Dal Ponte Luca

**Matricola:** 575092

**Anno Accademico** 2010/2011



<b>SOMMARIO.....</b>	<b>pag 5</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>pag 7</b>
<b>CAPITOLO 1:PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA.....</b>	<b>pag 9</b>
<b>1.1 L'azienda Faraplan S.p.a</b>	
<b>CAPITOLO 2 :IL TUBO CORRUGATO A DOPPIA PARETE.....</b>	<b>pag 11</b>
<b>2.1 La materia prima per tubi corrugati</b>	
2.1.1 Struttura molecolare,proprietà e produzione del polietilene	
2.1.2 Analisi delle altre materie prime	
<b>2.2 Tipologie ed impiego del prodotto finito</b>	
<b>2.3 Pregi e difetti del tubo corrugato</b>	
2.3.1 Caratteristiche meccaniche	
2.3.2 Principali difetti microstrutturali	
<b>2.4 Il sistema di qualità del tubo corrugato</b>	
2.4.1 La norma CEI EN 50086-2-4	
2.4.2 Procedure di controllo qualità	
<b>2.5 Gestione degli ordini clienti</b>	
<b>2.6 Stoccaggio del prodotto finito</b>	
2.6.1 Descrizione del sistema di stoccaggio del prodotto finito	
2.6.2 Gestione delle scorte a magazzino	
<b>CAPITOLO 3:PRODUZIONE DEL TUBO CORRUGATO.....</b>	<b>pag 31</b>
<b>3.1 Generazione dell'ordine di produzione</b>	
<b>3.2 Descrizione layout del reparto</b>	
<b>3.3 Gestione del reparto</b>	
<b>3.4 Descrizione e funzionamento linea di estrusione per il tubo corrugato</b>	
3.4.1 Il sistema di alimentazione dell'unità di estrusione	
3.4.2 L'unità di estrusione	
3.4.3 Il corrugatore	
3.4.4 La vasca di raffreddamento	
3.4.5 La perforatrice	
3.4.6 L'avvolgitore	
<b>3.5 L'impianto di circolazione dei liquidi refrigeranti</b>	
<b>3.6 L'impianto di adduzione della materia prima</b>	
<b>3.7 Problematiche di produzione del tubo</b>	
<b>CAPITOLO 4:I PARAMETRI DI MACCHINA.....</b>	<b>pag 65</b>
<b>4.1 Andamento dei parametri di macchina in funzione del diametro nominale</b>	
4.1.1 Parametri di macchina: il corrugatore	
4.1.2 Parametri di macchina: l'estrusore	
4.1.3 Parametri di macchina: il coestrusore	
<b>4.2 Sensibilità dei parametri al tipo di prodotto</b>	
<b>4.3 Sensibilità dei parametri alla linea di produzione</b>	
<b>CAPITOLO 5:IL CONSUMO ENERGETICO E I COSTI DI PRODUZIONE.....</b>	<b>pag 71</b>
<b>5.1 Potenze nominali installate sulle linee</b>	
<b>5.2 Consumo energetico e costo di produzione in funzione del diametro del prodotto</b>	

5.3 Zone di dissipazione energetica	
<b>CAPITOLO 6: I PARAMETRI DIMENSIONALI DEL TUBO CORRUGATO.....</b>	<b>pag 78</b>
6.1 Andamento dei parametri dimensionali medi in funzione del diametro	
6.2 Parametri dimensionali effettivi rilevati	
6.3 Analisi delle non conformità dei parametri dimensionali	
<b>CAPITOLO 7: RELAZIONI DEI PARAMETRI MACCHINA, DIMENSIONALI, DEL CONSUMO ENERGETICO E DEL COSTO DI PRODUZIONE SPECIFICI.....</b>	<b>pag 85</b>
7.1 Determinazione equazioni dei parametri di macchina	
7.1.1 Estrusore	
7.1.2 Coestrusore	
7.1.3 Corrugatore	
7.2 Determinazione equazioni dei parametri dimensionali	
7.3 Determinazione equazioni del consumo energetico e dei costi di produzione	
7.3.1 Linea 1	
7.3.2 Linea 2	
7.3.3 Linea 3	
<b>CAPITOLO 8: ELABORAZIONE E VERIFICA DEL MODELLO PREVISIONALE.....</b>	<b>pag 99</b>
8.1 Scelta dei nuovi diametri da produrre	
8.2 Il modello previsionale	
8.3 Applicazione del modello ai nuovi diametri prodotti	
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>pag 105</b>
<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....</b>	<b>pag 107</b>

# SOMMARIO

Il presente lavoro di tesi ha come oggetto l'analisi del tubo corrugato a doppia parete in polietilene e del suo processo produttivo, in modo tale da poter elaborare un semplice modello previsionale per la stima dei parametri di linea, dei parametri dimensionali del prodotto e dei consumi energetici in funzione del diametro nominale del tubo.

L'esperienza di stage effettuata presso l'azienda Faraplan S.p.a di Fara Vicentino ha permesso di raccogliere informazioni circa il prodotto e il processo produttivo in esame, rendendo disponibili dati numerici utili all'elaborazione del modello statistico sopra citato.

Dopo una generale presentazione dell'azienda al capitolo uno, il capitolo due tratta le materie prime, le prove di qualità e la gestione del prodotto nella fase di ricezione dell'ordine d'acquisto e nella fase di stoccaggio.

Il capitolo tre fornisce le informazioni sulla produzione del tubo corrugato, analizzando la struttura e il funzionamento delle macchine che compongono la linea di estrusione; nella parte finale si affrontano anche le principali problematiche che riguardano il processo produttivo.

Con il capitolo quattro si apre la parte analitica della tesi che porta alla determinazione del modello previsionale: i capitoli quattro, cinque e sei sono dedicati alla descrizione dei parametri rilevati e del loro andamento grafico rispetto al diametro del tubo; le considerazioni espresse in questa sezione hanno lo scopo di fornire al lettore una presentazione generale dei dati raccolti.

Il capitolo sette si occupa di ricavare le relazioni analitiche presenti tra i parametri e il diametro del tubo; l'analisi statistica basata sulla determinazione della retta di regressione ha consentito di evidenziare l'assenza o la natura non lineare di alcuni parametri rispetto al diametro prodotto. In tali casi, si è cercato di motivare i diversi andamenti attraverso considerazioni ingegneristiche relative alla struttura della macchina e al processo produttivo.

Il capitolo finale raccoglie tutte le relazioni ricavate al capitolo sette, illustrando il modello statistico oggetto della presente tesi; infine, si sono riportate alcune applicazioni del modello, interpretando i risultati stimati in base alle consuetudini produttive reali.



# INTRODUZIONE

Nell'edilizia moderna, la necessità di far passare dei cavi è sempre più presente: la diffusione della tecnologia in ambito domestico ha comportato uno sviluppo applicativo imponente nel campo della distribuzione e fornitura di energia elettrica, determinando la ricerca di sistemi innovativi e tecnicamente validi come metodi di protezione e convogliamento dell'elettricità ai vari utilizzatori, sia privati che industriali .

La natura di un impianto elettrico o di telecomunicazioni è molto eterogenea: il numero e la posizione degli utilizzatori all'interno di un edificio o all'interno di un'area urbana sono degli aspetti variabili, per cui è impossibile progettare un sistema di protezione dei cavi che sia standard per ogni struttura oggetto dell'installazione.

Pertanto, ogni edificio o area urbana che richiede energia elettrica o un flusso d'informazioni deve avere un sistema di tubazioni protettive per i cavi elettrici fatto su misura, in modo tale da assicurarne la sicurezza e la funzionalità.

In questa situazione, i tradizionali tubi rigidi in materiale plastico risultano inadeguati perché la rigidità assiale del tubo non permette un'installazione agevole: il tubo rigido non consente l'adattabilità alla struttura dell'impianto elettrico, causando un aumento del tempo di messa in opera del tubo e determinando un incremento significativo dei costi di cantiere.

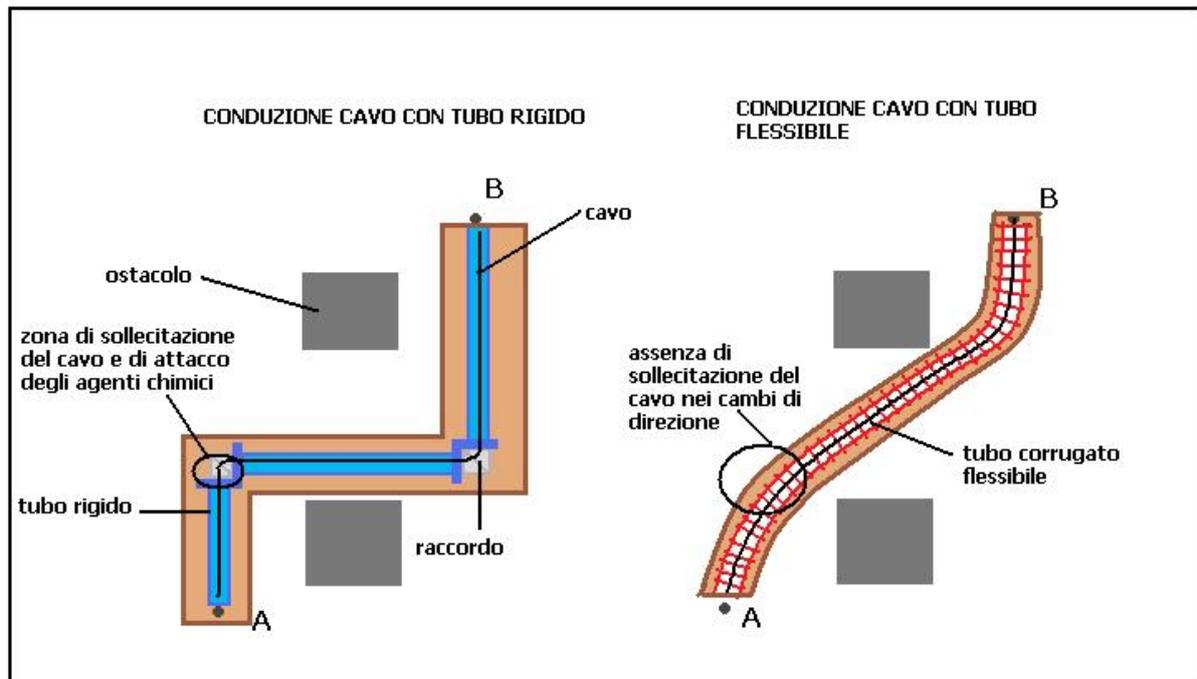
Inoltre, il cavo elettrico è per sua natura flessibile, pertanto richiede un sistema di contenimento che ne segua l'andamento: in questo modo, i fili all'interno non sono sollecitati in modo anomalo perché il tubo flessibile si adatta come un "guanto" alla struttura dell'impianto elettrico; ciò non accadrebbe con un tubo rigido che costringe il cavo ad adattarsi alla rigida parete del tubo, vincolando il percorso al numero e alla dimensione delle tubazioni disponibili.

Alla luce di questi aspetti, il tubo corrugato a doppia parete rappresenta una valida alternativa al sistema tradizionale di conduzione e protezione dei cavi. Il prodotto è un ottimo compromesso tra la capacità del tubo rigido di resistere alla compressione anulare e la flessibilità assiale richiesta dal cavo elettrico.

Da queste caratteristiche ne discende un minore costo d'installazione e, a parità di servizio reso, un minore costo totale della struttura di conduzione perché, per effettuare lo stesso percorso del cavo, il tubo rigido richiede più unità che dovranno essere assemblate tramite dei raccordi. Questi ultimi rappresentano, inoltre, un punto preferenziale per l'attacco degli agenti chimici presenti nel terreno che potrebbero causare il danneggiamento del cavo;

quindi, la maggiore continuità garantita dal tubo flessibile è un valido aiuto per la salvaguardia dell'impianto.

L'utilità del tubo corrugato flessibile per il passaggio dei cavi è esemplificata dalla figura sottostante.



L'analisi fatta in questa tesi ha essenzialmente due obiettivi: il primo consiste nel dare al lettore delle nozioni di base riguardo il tubo corrugato, affrontandone i principali aspetti quali le caratteristiche meccaniche e funzionali, il processo produttivo e la gestione del prodotto durante l'iter aziendale; il secondo obiettivo è quello di ottenere un semplice modello previsionale che, alla luce del processo produttivo analizzato, consenta di stimare i parametri macchina, il consumo energetico, il costo di produzione e i parametri dimensionali di un prodotto non attualmente previsto in azienda, in modo da capire l'impatto che la nuova produzione avrebbe sull'attuale processo implementato da Faraplan.

Si è scelto di trattare il tubo corrugato e la sua produzione innanzitutto perché il tema dell'estrusione delle materie plastiche è molto attuale, visto l'impiego dei polimeri in moltissimi campi civili ed industriali; inoltre, è interessante capire tutti i passaggi tecnologici che consentono di avere un prodotto così apparentemente semplice, ma con caratteristiche prestazionali specifiche e tutt'altro che banali.

# CAPITOLO 1

## PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA

### 1.1 L'Azienda Faraplan S.p.a

Faraplan S.p.a nasce nell'Agosto 1999 ed è un'azienda leader in Europa per quanto riguarda la lavorazione delle principale materie plastiche presenti sul mercato. In particolare, Faraplan è all'avanguardia nella lavorazione del PVC in tutte le sue varianti e nella produzione di tubi corrugati a doppia parete in polietilene. Altri prodotti di punta per l'azienda sono il film in polietilene e il *compound* di PVC.

L'azienda svolge la propria attività in due siti produttivi; lo stabilimento principale è situato a Fara Vicentino e vanta una struttura coperta di 15000 m<sup>2</sup> e una superficie adibita a magazzino esterno pari a 90000 m<sup>2</sup> mentre lo stabilimento di Lugo Vicentino presenta una superficie coperta di 4000 m<sup>2</sup> ed una superficie scoperta esterna di 8000 m<sup>2</sup>.



**Figura 1.1: Visione panoramica dello stabilimento Faraplan di Fara Vicentino**

Complessivamente, il fatturato totale dell'azienda è di circa 90 Mln di euro all'anno, producendo globalmente un quantitativo pari a 90000 ton/anno di prodotto finito .

Per mantenere queste elevate performance produttive, Faraplan si avvale di tecnologie all'avanguardia nel campo della trasformazione delle materie plastiche; in particolare ,lo stabilimento di Fara Vicentino è basato sull'estrusione mentre lo stabilimento di Lugo Vicentino si occupa della produzione di raccorderia (giunti per tubi PVC, manicotti per il tubo corrugato..) tramite stampaggio ad iniezione.

Il processo di estrusione è quindi il cardine su cui si basa l'attività di Faraplan che possiede complessivamente ben quaranta linee di produzione così suddivise:

**-Stabilimento di Fara Vicentino:** dodici linee di estrusione del tubo rigido in PVC, tre linee di estrusione del tubo corrugato a doppia parete in polietilene, una linea di granulazione del PVC plastificato, una linea di estrusione del film in polietilene.

**-Stabilimento di Lugo Vicentino:** venti linee di stampaggio ad iniezione dei raccordi, tre linee di granulazione del PVC plastificato.

L'azienda fa parte del gruppo FITT, il quale rappresenta una delle più solide realtà industriali nel campo della lavorazione delle materie plastiche per la produzione di tubi flessibili e rigidi, impiegati in svariate applicazioni tecnologiche.

I principali soci del gruppo FITT sono:



**FITT S.p.a** è il membro principale del gruppo e si occupa della produzione di tubi flessibili in PVC per il giardinaggio, la nautica ed usi speciali. In questo settore, l'innovazione tecnologica è la base della competitività per cui FITT, oltre ai tubi standard, offre una serie di tubi ad alto contenuto tecnologico assicurato da brevetti aziendali che garantiscono un prodotto altamente performante in esercizio.



**HI-FITT** si occupa invece di tubi spiralati e flessibili per il passaggio di fluidi speciali quali gas, liquidi, lubrificanti, materiali abrasivi e liquidi alimentari come latte o olio. Pertanto, viste le applicazioni di nicchia in cui viene utilizzato il prodotto, il tubo tecnologico deve essere da un lato altamente performante in termini di prestazioni meccaniche ma anche il più inerte possibile in modo tale da non modificare le proprietà fisiche o organolettiche del fluido trasportato.



**Faraplan S.p.a** si occupa della progettazione e produzione di tubi rigidi in PVC per numerose applicazioni civili e industriali, completi dei relativi raccordi. Inoltre, l'azienda produce tubi corrugati in polietilene alta densità per diversi utilizzi industriali e film in polietilene, oltre che al PVC granulato.

## CAPITOLO 2

# IL TUBO CORRUGATO A DOPPIA PARETE

### 2.1 La materia prima per tubi corrugati

Per avere un corretto comportamento in esercizio, il tubo a doppia parete prodotto da Faraplan richiede la scelta e l'utilizzo sapiente delle materie prime che costituiscono la base per un prodotto di alta qualità, conforme alle severe normative europee in materia di tubi per edilizia; di seguito verranno trattate le principali materie prime coinvolte nel processo produttivo.

#### 2.1.1 Struttura molecolare ,proprietà e produzione del polietilene

Il polietilene appartiene alla categoria dei polimeri, essendo costituito da una catena formata da tante unità ripetute chiamate monomeri ; nel caso del polietilene il monomero è l'etilene la cui formula bruta è  $C_2H_4$ . Come si vede in Figura 2.1.1 a, l'etilene è costituito da due atomi di carbonio e quattro atomi di idrogeno che, per effetto della polimerizzazione ,danno luogo a catene con legami chimici assiali molto forti(Figura 2.1.1 b).

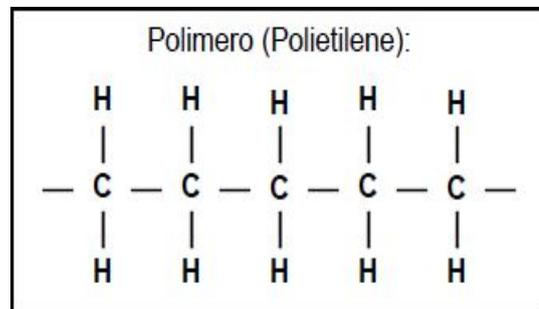
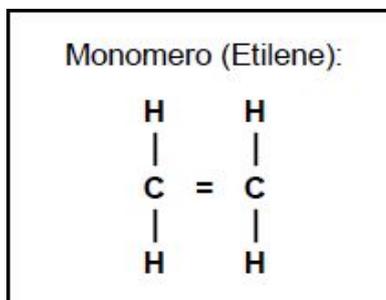


Figura 2.1.1 a: Struttura molecolare 2D dell' etilene polietilene

Figura 2.1.1 b: Struttura molecolare 2d

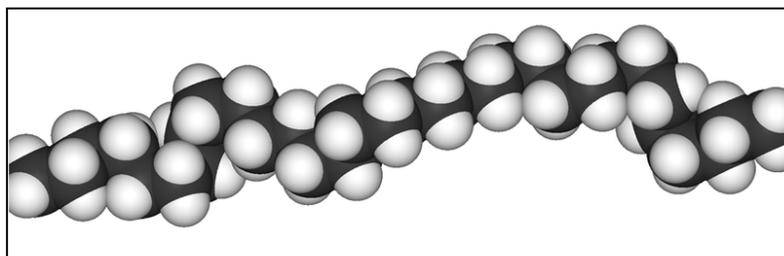


Figura 2.1.1 c: Visione 3D della catena del polietilene:le sfere bianche sono gli atomi di idrogeno mentre quelle nere sono gli atomi di carbonio

Ovviamente, il polietilene si estende nello spazio determinando catene polimeriche in parte attorcigliate secondo la proporzione tra zone ordinate definite **cristalline** e aree definite **amorfe**, in cui le catene sono attorcigliate tra loro in una sorta di gomitolo; la maggior parte dei polimeri, e quindi anche il polietilene, presentano entrambe le strutture pertanto si parla di polimeri **semicristallini**. Come già detto, assialmente la catena polimerica vanta dei legami chimici molto forti ossia i legami covalenti; l'attrazione tra catene differenti invece è basata su legami deboli di Van Der Waals: questo fatto risulterà importante per la lavorabilità del materiale nella fase di estrusione.

Inoltre, secondo il peso molecolare e quindi la densità del materiale, si classifica il polietilene in 3 categorie:

-HDPE: polietilene ad alta densità in cui la struttura cristallina prevale su quella amorfa.

-MDPE: polietilene a media densità, caratterizzato dalla sostanziale equivalenza tra stato amorfo e cristallino.

-LDPE: polietilene a bassa densità, determinato dalla struttura prevalentemente amorfa del polimero.

Recentemente è stato sintetizzato in laboratorio anche un nuovo tipo di LDPE chiamato LLDPE acronimo di polietilene a bassa densità lineare: esso presenta una densità inferiore, a cui corrisponde una complessiva orientazione lineare delle catene polimeriche.

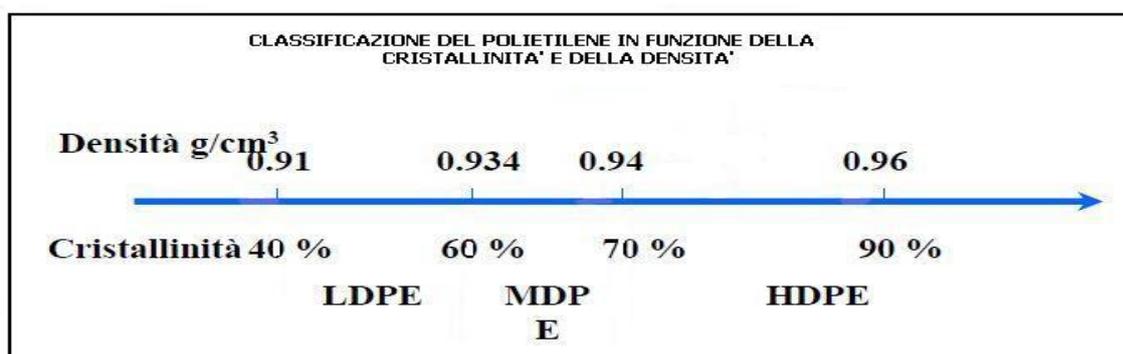


Figura 2.1.1 d: Classificazione del polietilene in funzione della cristallinità e della densità

Il polietilene utilizzato da Faraplan per la produzione del tubo corrugato è il polietilene alta densità per soffiaggio (**blow molding**) perché lo stress meccanico subito dal materiale nella

fase di corrugamento del tubo è simile a quello subito dal polimero nella lavorazione del soffiaggio.

Come tutti i polimeri, anche il polietilene presenta una scheda tecnica in cui, tramite l'analisi delle varie voci, il personale specifico sceglie il prodotto per essere processato in macchina.



**polimeri europa**

www.polimerieuropa.com

**Scheda tecnica**

info.polyethylene@polimerieuropa.com

---

**ERACLENE<sup>®</sup>**

HDPE

**PF 92**

Polietilene ad alta densità

Eraclene PF 92 è un polietilene ad alta densità omopolimero. Esso combina una elevata rigidità, un'alta resistenza all'urto e un moderato rigonfiamento. Eraclene PF 92 ha una distribuzione dei pesi molecolari intermedia in modo da bilanciare le prestazioni del prodotto con la lavorabilità in macchina.

**Applicazioni**

Eraclene PF 92 è pensato per l'utilizzo in macchine da estrusione che producono tubi a parete strutturata, quando è richiesta elevata rigidità. Inoltre, può essere utilizzato in estrusione per ottenere profili o lastre.

**Proprietà principali**

Proprietà della resina	Metodo di test	Unità	Valore
Melt Flow Rate (190 °C/ 2.16 kg)	ISO 1133	g/10min	0.7
Melt Flow Rate (190 °C/ 5 kg)	ISO 1133	g/10min	2.6
Melt Flow Rate (190 °C/ 21.6 kg)	ISO 1133	g/10min	45
Densità	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	0.960
Punto di fusione	Metodo interno	°C	138
Temperatura di infragilimento	ASTM D 746	°C	< - 60
Temperatura di rammolimento Vicat (1 kg)	ISO 306/A	°C	128

Proprietà Meccaniche *	Metodo di test	Unità	Valore
Carico di snervamento	ISO 527	MPa	31
Carico a rottura	ISO 527	MPa	30
Allungamento a rottura	ISO 527	%	> 800
Modulo a flessione	ISO 178	MPa	1500
Urto Izod con intaglio	ISO 180/A	J/m	-
Durezza Shore D	ISO 868/A		66
ESCR, resistenza ai tensioattivi	ISO 22088	h	-

\* Valori riferiti a provini stampati a compressione. Le proprietà sono tipiche e possono variare in funzione delle condizioni di stampaggio.

Eraclene<sup>®</sup> è un marchio registrato di POLIMERI EUROPA

Questo documento è costituito da 2 pagine

Pag. 1/2 - Gennaio 2010

Figura 2.1.1 e: Prima parte scheda tecnica del polietilene

**Condizioni di estrusione**

Eraclene PF 92 è facile da trasformare nelle più recenti macchine da estrusione con risultati eccellenti. Condizioni tipiche di trasformazione

Temperatura impostata, estrusore zona 1 (°C) 170 - 180  
 Temperature impostate, estrusore zone 2-4 (°C) 185 - 195  
 Temperatura impostata, testa (°C) 185 - 195  
 Temperatura del fuso (°C) 210 - 220

**Stoccaggio e trasporto**

Eraclene PF 92 è fornito in granuli. Questo materiale è facilmente trasportabile con attrezzature progettate per polietilene convenzionale in granuli, ammesso che tali attrezzature consentano di evitare l'accumulo di polvere o di particelle di piccole dimensioni che sono contenute in tutte le resine di polietilene. Sia la polvere che le particelle di piccole dimensioni possono costituire un rischio di esplosione in particolari condizioni ambientali. Sugeriamo che il sistema di trasporto sia equipaggiato con filtri di adeguata dimensione, che operi e sia mantenuto in condizioni tali da evitare perdite e che sia protetto da adeguata messa a terra. Raccomandiamo inoltre che sia effettuata una buona manutenzione delle attrezzature.

Stoccato in ambiente ventilato, privo di umidità, termostato a temperatura tra 20°C e 30°C e non esposto direttamente alla luce, il materiale ha una durata di circa 18 mesi. In ogni caso, prima di utilizzare questo prodotto, si consiglia di consultare accuratamente le relative schede di sicurezza di POLIMERI EUROPA.

**Disponibilità**

Per conoscere la disponibilità della resina e per informazioni su specifiche applicazioni si prega di contattare il più vicino ufficio vendite di POLIMERI EUROPA.

**Dichiarazione di conformità alimentare**

Eraclene PF 92 è conforme ai regolamenti dell'Unione Europea, come pure di altri paesi, relativi all'uso di materiali plastici che debbano venire in contatto con prodotti alimentari. I certificati di conformità sono disponibili su richiesta.

---

**ASSISTENZA TECNICA**

Polimeri Europa S.p.A. Piazza Boldrini, 1 20097 S. Donato Milanese, Italia Tel. +39 02 520.1 Fax + 39 02 520.42901	Polimeri Europa SAS 1 Route des Dunes BP 59 F-59279 MARDYCK - France Tel. +33 3 28235514 Fax +33 3 28235520	Polimeri Europa S.p.A. Via Taliercio, 14 46100 Mantova, Italia Tel. +39 0376 305504 Fax + 39 0376 305299
--	---	--

---

**SEDE**

Polimeri Europa S.p.A.  
Piazza Boldrini, 1  
20097 San Donato Milanese, Milano - Italia  
Tel. +39 02 520.1  
Fax + 39 02 520.42901

---

**IMPORTANTE:** per maggiori dettagli richiedere le relative schede di sicurezza. Le informazioni e i dati contenuti in questo documento sono indicazioni che non costituiscono garanzia qualora l'acquirente non adempia agli obblighi e alle prescrizioni del caso.  
 Polimeri Europa è a disposizione per eventuali suggerimenti e ulteriori informazioni.

---

Pag. 2/2 - Gennaio 2010

Figura 2.1.1 f :Seconda parte scheda tecnica del polietilene

La prima parte della scheda tecnica contiene delle informazioni riguardo alle principali proprietà fisiche della resina quali densità, temperatura di fusione e di rammollimento ; tuttavia, il parametro più interessante per il processo di estrusione è il **Melt Flow Index (M.F.I) o indice di fluidità** che esprime la fluidità della resina: nello specifico, il M.F.I è una portata di massa ottenuta estrudendo la resina ad una certa temperatura e sotto l'azione di un determinato peso. Per avere una corretta indicazione riguardo al comportamento in macchina della materia prima, è opportuno considerare il valore del M.F.I in riferimento a diversi pesi in modo tale da rendere più agevole il confronto tra due polimeri

diversi;infatti,tanto più l'area sotto la curva dell' M.F.I è maggiore ,tanto più il polimero risulta estrudibile come è rappresentato dal grafico sottostante.

POLIMERO A	
peso (kg)	M.F.I (g/10min)
2,16	0,7
5	2,6
21,6	45

POLIMERO B	
peso (kg)	M.F.I (g/10min)
2,16	0,4
5	2,1
21,6	32

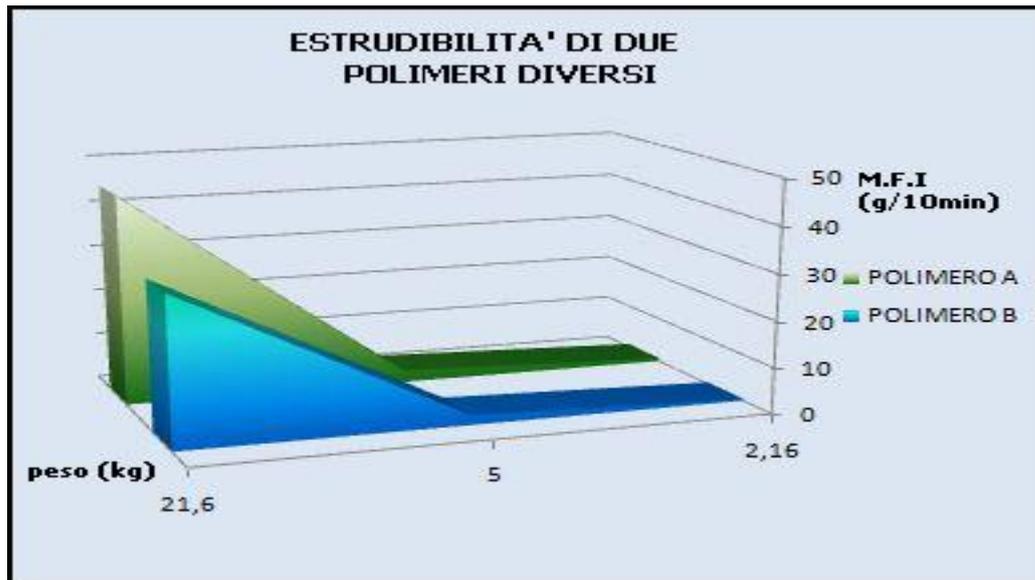


Grafico 2.1.1 a: Estrudibilità di due polimeri diversi

La seconda parte della scheda tratta le proprietà meccaniche della resina quali il carico di snervamento e l'allungamento a rottura;essi possono dare delle informazioni indicative sulle caratteristiche prestazionali del polietilene ma non costituiscono una sicura indicazione delle proprietà meccaniche del prodotto,le quali sono fortemente influenzate dal processo di estrusione;tuttavia,è più facile che il prodotto finale sia di buona qualità se la materia prima presenta caratteristiche meccaniche valide.

L'ultima parte fornisce principalmente delle informazioni specifiche per quanto riguarda la temperatura delle zone di estrusione e della filiera (vedi paragrafo 3.4.2); tali valori sono indicativi perché solitamente nel processo reale le temperature della macchina sono settate a valori più alti (circa 220 °C) perché bisogna tener conto delle elevate dispersioni termiche per convezione e per conduzione nella zona delle fasce riscaldanti.

Poi, la scheda tecnica rende disponibili i dettagli circa il corretto stoccaggio della resina e gli accorgimenti da adottare per evitare la formazione di polvere o la presenza d'impurità esterne che,una volta entrate in macchina ,causano problemi al processo.

Terminando l'analisi della scheda tecnica, è necessario evidenziare che è difficile capire le componenti specifiche della resina in quanto il produttore non fornisce i dati sensibili in modo tale da preservare la riservatezza del suo processo; quindi, non si acquista resina pura ma un **compound**, ossia un insieme di componenti che, assieme alla resina pura, consentono la lavorazione del polietilene ad una temperatura a cui la resina pura si danneggerebbe in fretta, diventando inutilizzabile.

Lo stato dell'arte per la produzione del polietilene comprende tre tecnologie principali:

**1) Processo ad alta pressione:** il procedimento è uno dei processi "classici" e permette di ottenere un polimero molto lavorabile; il monomero etilene viene portato in un reattore autoclave ad altissima pressione (2800 bar) alla temperatura di 200-300°C; in queste condizioni particolarmente critiche, l'etilene polimerizza aiutato da un catalizzatore che abbassa l'energia di attivazione della reazione..

**2) Processo Soluzione:** in questo caso, l'etilene viene fatto reagire con un solvente determinandone la polimerizzazione; il processo risulta più complesso rispetto a quello precedente ma consente di ottenere un prodotto purissimo ed esteticamente apprezzato, adatto ad applicazioni di nicchia.

**3) Processo Fase Gas Unipol:** è riconosciuto come il metodo più efficiente per produrre



Figura 2.1.1 g: Impianto di polimerizzazione dell'etilene

Figura 2.1.1 g.

polietilene; esso lavora polimerizzando il monomero che si trova in fase gassosa in un reattore a letto fluido al cui interno è presente una miscela liquida di etilene e catalizzatori di coordinazione, sulle cui particelle inizia ad accrescersi il granulo di resina.

Tutti questi processi sono implementati da impianti complessi e di notevoli dimensioni, come dimostra la

### 2.1.2 Analisi delle altre materie prime

La produzione del corrugato coinvolge l'impiego di altre materie prime che, pur essendo secondarie rispetto al polietilene, contribuiscono a rendere il prodotto conforme all'utilizzo nelle relative applicazioni.

Le tre materie prime secondarie utilizzate nel processo sono:

-la carica minerale o **estalene**: si presenta in forma granulare di colore bianco ed è utilizzata come materiale secondario dello strato esterno del prodotto. Ogni granulo è formato per il 55% da carbonato di calcio proveniente come scarto dalla lavorazione del marmo, dal 5% di elastomero e dal 40% di polietilene. La funzione dell'elastomero è di legare le due componenti principali in modo tale da rendere il carbonato di calcio lavorabile grazie alla copertura di hdpe fuso. La funzione dell'estalene è di contribuire alla resistenza a compressione radiale dello strato esterno anche se, come si vedrà al paragrafo 2.3.1, non ne è il responsabile principale.

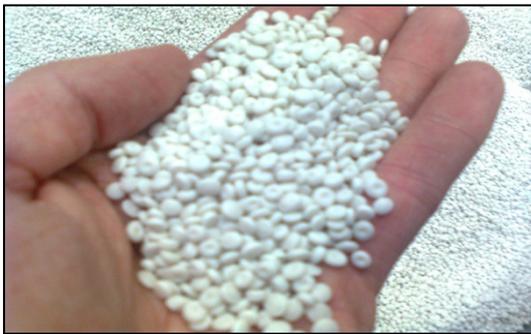
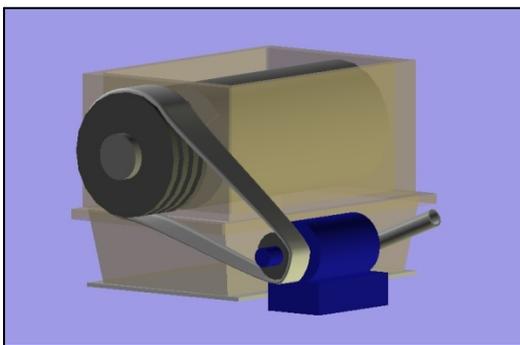


Figura 2.1.2.a: Granuli di estalene

-il materiale **rigenerato** si presenta anch'esso in forma granulare ed è il risultato di un



processo di riciclo degli scarti di lavorazione che vengono per prima cosa inviati ad un mulino, rappresentato in Figura 2.1.2 b.

Si ottimizza così il trasporto degli scarti al terzista esterno, il quale procede alla ri-estrusione con granulazione del materiale, per poi ritornare in azienda come materiale secondario dello strato

Figura 2. 1.2 b: Mulino per la macinazione degli scarti

interno.

Poiché il prodotto è stato a contatto con l'aria, è possibile che all'interno siano presenti delle particelle gassose che costituiscono un problema per il buon funzionamento della macchina; per ovviare a ciò, il materiale viene degassato in modo tale da eliminare le particelle volatili all'interno dei granuli.

-il colore o **master** è il componente che permette la colorazione sia dello strato esterno che dello strato interno del tubo; il master utilizzato per colorare i due strati è costituito da una matrice di polietilene ad alta densità (HDPE), pigmento e altri componenti tra cui gli assorbitori di raggi UV che permettono la salvaguardia del pigmento fino a 12 mesi. I pigmenti possono essere di tipo organico, caratterizzati da una vita fissa, e di tipo inorganico, arricchiti con ossido di ferro che assicura una più duratura permanenza del colore sulla superficie esterna.

## 2.2 Tipologie ed impiego del prodotto finito

Le principali tipologie di prodotto finito sono essenzialmente tre:



Figura 2.2.a : ROLL CABLE

ROLL CABLE è un tubo corrugato a doppia parete, rosso esternamente e nero internamente; data la particolare conformazione strutturale, vanta una resistenza allo schiacciamento di 450N con deformazione del diametro interno pari al 5%. Grazie agli stabilizzatori UV presenti nel master, ROLL CABLE riesce a limitare la degradazione del pigmento, garantendo l'integrità per un anno. Le taglie di produzione sono diametri da

40,50,63,75,90,110,125 e 160 mm, in rotoli da 25 o 50 metri. Il *range* d'impiego del ROLL CABLE è

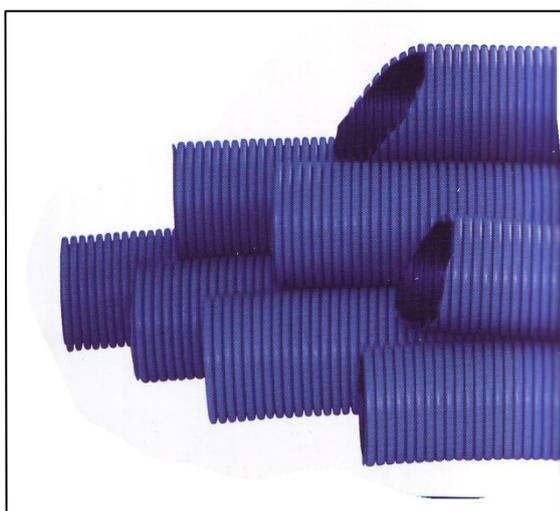
-50/+60 °C, garantito dalle proprietà del materiale. Il tubo corrugato è corredato con la sonda tiracavo in polipropilene, utile nella fase di passaggio del cavo all'interno del tubo ed inoltre con il manicotto di giunzione in materiale plastico su cui viene apportata l'etichetta di rintracciabilità del prodotto. La necessaria flessibilità assiale del prodotto è indicata dal raggio di curvatura minimo: tanto più esso è piccolo, tanto più il tubo risulta assialmente flessibile, pur preservando l'integrità degli strati esterni ed interni. Per questi motivi, il prodotto è ideale per il passaggio di cavi elettrici e telefonici nel sottosuolo; tuttavia, recentemente si è introdotta una variante che trova applicazione negli impianti di aerazione: la tendenza è quella di sostituire le condotte di aerazione in alluminio con tubi corrugati particolarmente flessibili e lisci, in modo tale da scongiurare l'accumulo di polvere. Per questo, Faraplan produce il ROLL CABLE con strato interno composto di LLDPE in sostituzione dell'HDPE, in modo tale da rendere il tubo corrugato maggiormente flessibile ed internamente liscio.



**Figura 2.2.b : ROLL DRAIN**

ROLL DRAIN è un tubo corrugato a doppia parete per il drenaggio di liquidi di ristagno nel terreno; presenta caratteristiche simili al ROLL CABLE riguardo al range di temperature di esercizio e al raggio di curvatura. Tuttavia, è dotato di una resistenza allo schiacciamento di 300N, nettamente inferiore a quella del ROLL CABLE: questo perché il prodotto non deve proteggere cavi ma deve solamente liberare dall'acqua una zona di terreno. Tale compito è assolto da

delle fessure estese per tutta la lunghezza del tubo.



**Figura 2.2.c : ROLL COM**

ROLL COM è un prodotto per il passaggio dei cavi di proprietà Telecom. Dal punto di vista tecnico, il prodotto è pressoché identico al ROLL CABLE tranne che per il colore blu dello strato esterno, necessario al riconoscimento della proprietà dei cavi nei cantieri edili.

Rispetto alla totale produzione del tubo corrugato, l'ottanta per cento è rappresentato dal ROLL CABLE e il rimanente 20% è egualmente spartito tra ROLL COM e ROLL DRAIN.

### **2.3 Pregi e difetti del tubo corrugato**

Il tubo corrugato, come tutti i manufatti industriali, presenta delle caratteristiche di pregio che ne determinano la competitività sul mercato ma è soggetto anche a difettosità che ne può minacciare l'adeguato comportamento in esercizio. In questo paragrafo si affronteranno le principali caratteristiche meccaniche del prodotto e i principali difetti microstrutturali che possono coinvolgere il tubo.

### 2.3.1 Caratteristiche meccaniche

Le principali caratteristiche meccaniche che deve avere il tubo corrugato sono due:

- resistenza allo schiacciamento
- resistenza agli urti

La resistenza allo schiacciamento consente al tubo di proteggere i cavi elettrici che passano al suo interno; tale rigidità anulare è ottenuta in parte grazie al processo di corrugamento perché l'aderenza dello strato esterno alla parete dello stampo determina un'orientazione delle catene polimeriche in senso radiale e quindi un miglioramento della resistenza a compressione nella stessa direzione. Tuttavia, il fattore che più incide sulla resistenza radiale di compressione è la configurazione del corrugamento, come evidenziato in Figura 2.3.1 a.

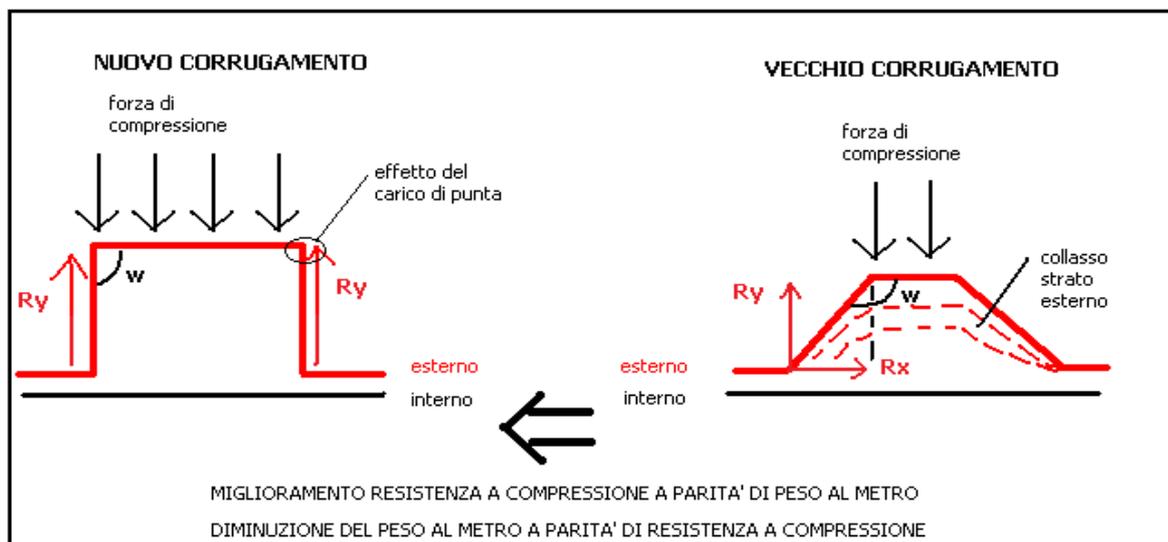


Figura 2.3.1 a: Struttura del corrugamento del tubo

Adottando un corrugamento tradizionale, la forza di compressione esercitata da un carico esterno determina un collasso della parete esterna stessa, perché la reazione vincolare  $R$  della struttura si traduce in due componenti, tra cui  $R_x$  che è la responsabile del collasso dello strato esterno; infatti, tanto più  $w$  è maggiore di  $90^\circ$ , tanto più cresce la componente  $R_x$  e tanto più diminuisce la componente  $R_y$  che dà la resistenza a compressione della costa. Nel nuovo tipo di corrugamento evidenziato a sinistra della figura, l'angolo  $w$  tende a  $90^\circ$  in modo tale che tutta la reazione vincolare alla forza esterna si manifesti sull'asse  $y$ , creando un "effetto di punta" responsabile della elevata resistenza meccanica del tubo.

Se da un lato il tubo deve avere quindi un'ottima resistenza a compressione, ciò non vuol dire che non sia permessa alcuna compressione radiale: infatti, essendo il prodotto interrato spesso sotto le sedi stradali, esso è soggetto a carichi ciclici determinati dal traffico in

superficie; in questo caso un'assoluta rigidità sarebbe controproducente, per cui si parla di resistenza a compressione di 450N con 5% di deformazione del diametro interno.

Come si vede in Figura 2.3.1 b, la seppur ridotta flessibilità radiale del tubo permette di assorbire i carichi ciclici, in modo tale da non danneggiare la sede stradale soprastante.

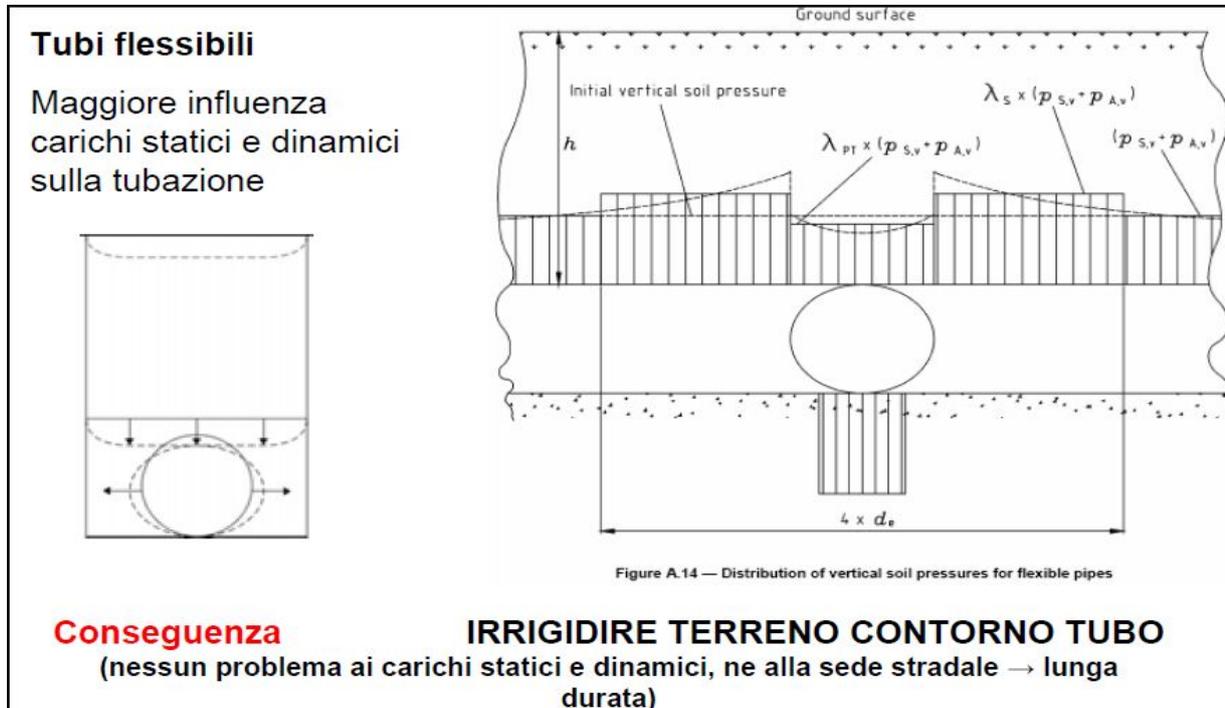


Figura 2.3.1.b : Distribuzione del carico su un tubo flessibile

Altra caratteristica meccanica importante del tubo corrugato è la resilienza, ossia la resistenza all'urto: le tipologie di terreno in cui sono interrati i tubi spesso presentano massi e pietre, che cadendo sul tubo in fase d'installazione potrebbero danneggiarne la struttura; pertanto, il prodotto deve assorbire e soprattutto dissipare l'energia d'urto in modo tale che lo strato interno rimanga intatto. Il fattore decisivo è la densità del corrugamento, ossia il numero di coste su una determinata unità di lunghezza; la resistenza all'urto è direttamente proporzionale alla densità di coste perché, aumentando la densità di coste, aumenta la superficie su cui viene dissipata l'energia d'urto e l'impatto accidentale con una pietra risulta innocuo per l'integrità dei cavi.

### 2.3.2 Principali difetti microstrutturali

I principali difetti microstrutturali sono chiamati "geli"; essi consistono nella sovrapposizione di catene polimeriche in un unico punto. Quando la materia prima con geli è processata, ci possono essere dei problemi in macchina perché, pur essendo le temperature di estrusione molto alte, questi geli non fondono totalmente e determinano delle discontinuità sulla superficie del tubo; tuttavia, essi non costituiscono un difetto così importante da determinare

la non conformità del prodotto, causata piuttosto da fessurazioni anomale che permettono il passaggio di aria o di liquidi all'interno del prodotto.

## 2.4 Il sistema di qualità del tubo corrugato

Per certificare le caratteristiche meccaniche descritte in precedenza, l'azienda segue la norma CEI EN 50086-2-4 che è il riferimento normativo dei tubi corrugati per il passaggio dei cavi. Pertanto, seguendo tale norma, il prodotto è sottoposto a prove di qualità descritte di seguito, in modo da certificarne l'idoneità all'impiego specifico.

### 2.4.1 La norma CEI EN 50086-2-4

Le normative europee in materia di edilizia indicano le specifiche modalità con cui bisogna eseguire i test sul prodotto e le caratteristiche dimensionali e funzionali delle apparecchiature per lo svolgimento delle prove. In particolare, la norma fa riferimento a due tipi di verifiche per il tubo corrugato, ossia la prova di schiacciamento e la prova d'urto. Riguardo alla prova di compressione, gli esemplari di tubo devono essere lunghi 200mm  $\pm$ 5mm e necessitano di essere schiacciati da delle piastre di dimensioni 100x200x15mm, con la lunghezza maggiore parallela rispetto all'asse del tubo. La velocità di schiacciamento deve essere di (15 mm  $\pm$ 0,5 mm)/min e si deve registrare la forza che provoca uno schiacciamento radiale del 5% rispetto al diametro esterno reale del tubo; lo schiacciamento deve avvenire senza la fessurazione dei due strati del tubo. La Tabella 2.4.1 sintetizza i valori minimi del diametro interno dopo lo schiacciamento, mentre la Figura 2.4.1.a rappresenta le dimensioni della macchina per la prova di schiacciamento.

Outside diameters – Preferred values		Diametri esterni – Valori preferenziali	
Dimensione nominale Nominal size mm	Diametro esterno Outside diameter mm	Tolleranza Tolerance mm	Diametro interno minimo Min. inside diameter mm
25	25	+0,5	18
32	32	+0,6	24
40	40	+0,8	30
50	50	+1,0	37
63	63	+1,2	47
75	75	+1,4	56
90	90	+1,7	67
110	110	+2,0	82
125	125	+2,3	94
140	140	+2,6	106
160	160	+2,9	120
180	180	+3,3	135
200	200	+3,6	150
225	225	+4,1	170
250	250	+4,5	188

Tabella 2.4.1 a: valori minimi diametro interno dopo schiacciamento

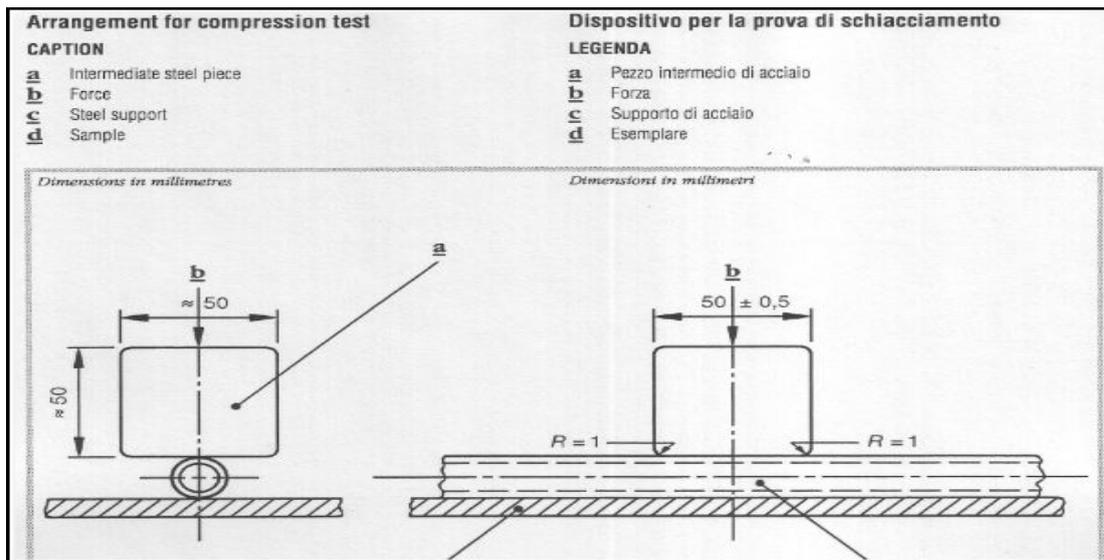


Figura 2.4.1 b: Dimensioni strumentazione per prova di schiacciamento

Per quanto riguarda la prova d'urto, gli esemplari devono essere sottoposti a condizionamento in frigorifero alla temperatura di  $-5^{\circ}\text{C}$  per due ore; l'apparecchiatura deve possedere un'incudine a V di  $120^{\circ}\text{C}$ , al cui centro è posizionato il campione del tubo. Il martello di massa 5 kg deve essere posto ad altezze diverse, come si vede in Tabella 2.4.1 b, a seconda del diametro del prodotto, in modo da poter trasferire energie d'urto proporzionali al diametro; tale strumentazione deve essere posizionata su un appoggio stabile e deve rispondere a precise caratteristiche strutturali, come indicato in Figura 2.4.1 b.

Impact test energy values			Valori di energia per la prova d'urto			
Dimensione nominale del tubo Nominal size of conduit	Tubo leggero Light duty			Tubo normale Normal duty		
	Peso del martello Mass of striker kg (+1/0)%	Altezza di caduta Fall height mm (+0/-1)%	Energia Energy J	Peso del martello Mass of striker kg (+1/0)%	Altezza di caduta Fall height mm (+0/-1)%	Energia Energy J
≤60	3	100	3	5	300	15
da 61 a 90	3	200	6	5	400	20
da 91 a 140	3	400	12	5	570	28
>140	3	500	15	5	800	40

Tabella 2.4.1 c : Energia d'impatto in funzione del diametro nominale del tubo

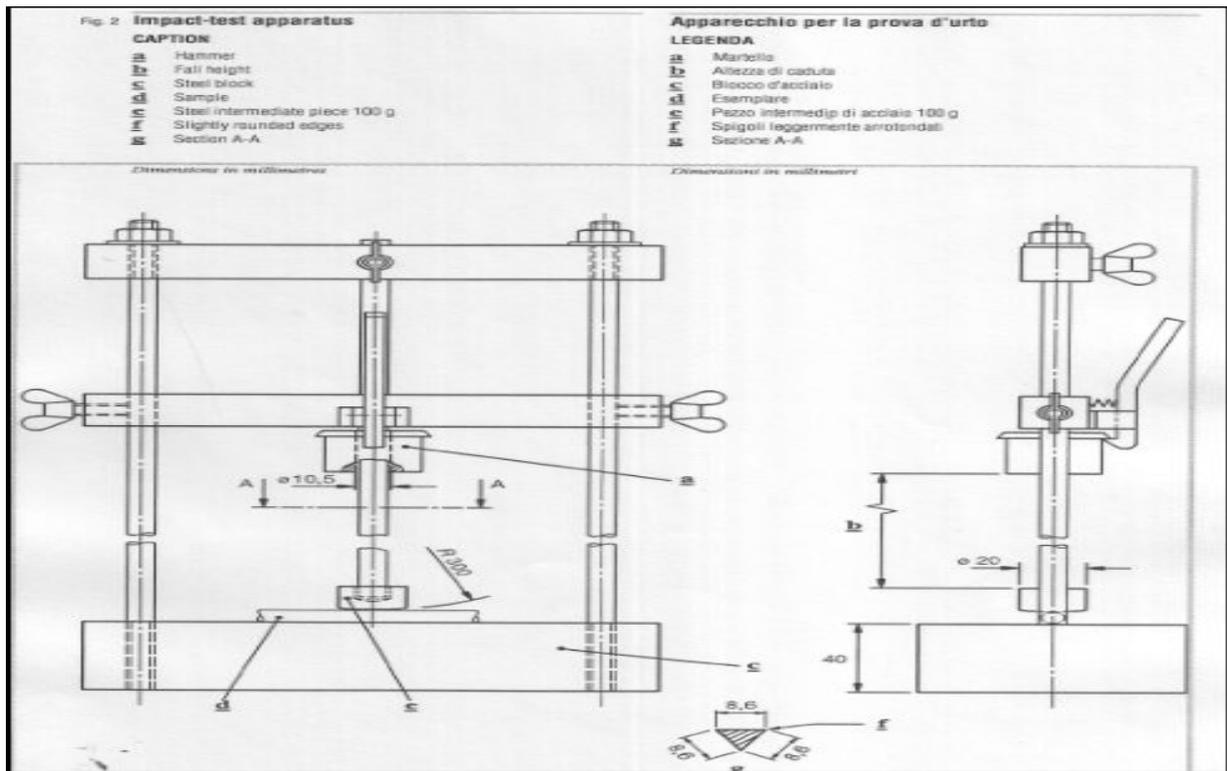


Figura 2.4.1 d : Struttura macchina per prova d'urto

### 2.4.2 Procedure di controllo qualità

Il prelevamento dei campioni per i test di qualità è fatto giornalmente, in modo tale da monitorare la produzione di tutte le linee; prima di svolgere le prove di qualità, è necessario aspettare circa tre giorni, affinché il materiale raggiunga una definitiva stabilità termica. Si preparano dunque cinque campioni di dimensioni conformi alla norma di riferimento, di cui quattro sono posti in frigorifero per il condizionamento e uno è utilizzato per i rilevamenti dei parametri dimensionali e per la successiva prova di compressione.

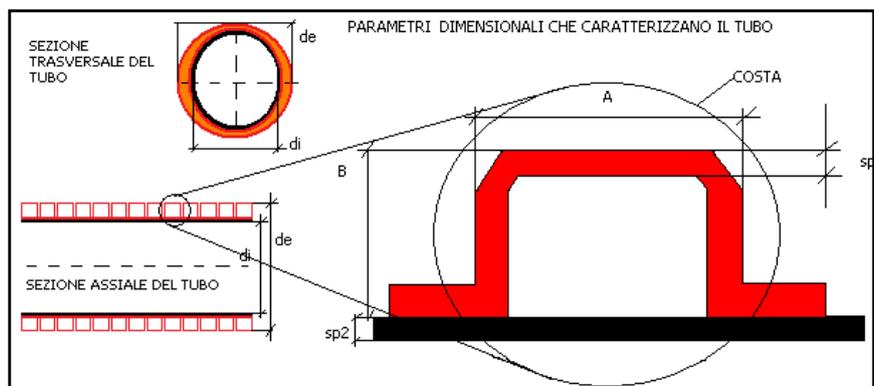


Figura 2.4.2 a: Parametri dimensionali rilevati

Una prima analisi è costituita da un controllo visivo degli spessori delle coste e dello stato dello strato interno, in modo tale da evidenziare discontinuità o rigature delle superfici del tubo. Poi, si procede al rilevamento dei principali parametri dimensionali, indicati in Figura 2.4.2 a :

PARAMETRO	DESCRIZIONE
di	diametro interno del tubo
de	diametro esterno del tubo
A	larghezza della costa del corrugamento
B	altezza della costa del corrugamento
sp1	spessore dello strato esterno del prodotto
sp2	spessore dello strato interno del prodotto
peso al metro	peso in kg di un metro di tubo

Tabella 2.4.2 : Parametri dimensionali rilevati

Una volta registrati questi parametri si procede alla prova di compressione sul medesimo campione; dopo aver sistemato il campione sul dinamometro come specificato nella norma, si avvia il software che dà l'inizio alla prova: si tiene il calibro aperto al 95% del diametro interno registrato e, nel momento in cui non c'è più gioco tra calibro e parete interna del tubo, si ferma il dinamometro e si legge il valore della forza registrata. Per aiutare l'operatore nella lettura, il software fornisce un grafico in cui si può leggere con buona precisione il valore cercato della resistenza a compressione.



Figura 2.4.2 b : Rilevamento parametri dimensionali



Figura 2.4.2 c : Prova di compressione

Dopo due ore di condizionamento in cella frigorifera, si prelevano i quattro campioni di tubo e, avendo posizionato alla corretta altezza il martello come specificato nella norma, si effettua la prova d'urto e si verifica che non ci siano brecce o fessure che permettano il passaggio d'aria tra l'interno ed esterno del tubo.



Figura 2.4.2 d :  
Macchina per la  
prova d'urto



Figura 2.4.2 e :  
Campioni dopo  
la prova d'urto

## 2.5 Gestione degli ordini dei clienti

L'ordine del cliente è ricevuto dall'ufficio commerciale via mail, fax o centralino. Se il cliente è nuovo, bisogna verificarne l'affidabilità e la solidità economica per cui Faraplan si appoggia a una società esterna di rating che ha il compito di fornire delle informazioni importanti per la nuova partnership commerciale; se invece il cliente è già nel database interno, tale procedura ovviamente non avviene.

L'inserimento dell'ordine a sistema prevede la compilazione di un prospetto, all'interno del software gestionale SAP, utilizzato in azienda come software amministrativo. I campi principali che caratterizzano l'inserimento dell'ordine sono il committente, il destinatario, la data di consegna richiesta e le modalità di pagamento. È importante sottolineare che se il cliente non è nuovo, una volta inserito il codice identificativo del cliente, il sistema si carica in automatico tutte le informazioni relative al rapporto commerciale.

Una volta compilato questo prospetto preliminare, si entra nella schermata del vero e proprio ordine, in cui bisogna inserire il codice, il quantitativo della merce richiesta dal cliente, il prezzo di listino e gli eventuali sconti aggiuntivi dovuti a condizioni particolari d'ordine.

Poi, si stampa l'ordine per la conferma del cliente e in allegato si produce un documento chiamato "Delta Mescola" che, tenuto conto del ricavo dell'ordine e delle varie voci di costo per quel prodotto, calcola il margine di guadagno dell'azienda. L'ordine inserito in SAP e il Delta Mescola sono inviati alla direzione per la firma di approvazione.

Articolo		Descrizione	U.M.	Quantità	PAL	Prezzo	Sconti/Maggior.	Importo	Data Cons.
00125	pezzi	OSSIDO TRONOX CR 826 materiale conforme a scheda tecnica Tronox Cr 826	pezzi	0,350		2.940,00	2,00 - %	954,64	13.10.2010
Valore pos. totale EUR								974,12	
Sconto Costata %								19,48	
Valore netto tot. IVA escl. EUR								954,64	EUR
Rif. Contratto Quadro concordato e sottoscritto il 22/09/04									

**RTANTE**  
Il sottoscritto si impegna integralmente a pagare la merce ricevuta entro 24 ore commercialmente scatta contraria  
 a cui Va. Det. e numero di riferimento del presente documento. In caso di mancato pagamento da parte del cliente, il fornitore si riserva il diritto di procedere alla vendita della merce ricevuta a terzi.  
 ANCI  
 Red. del 13 giugno 1997 n. 1. ANCI/ANCI/ANCI è Titolare del trattamento dei dati personali che vengono trattati secondo la necessità e la finalità indicata sul sito www.faraplan.it.  
 In ogni caso, i diritti di pubblicazione nei mezzi comunicati della legge sul esercizio i diritti di cui all'art. 7 dello stesso decreto sono riservati a FARAPLAN S.p.A.  
 Tel. 0498885288

Firma Richiedente \_\_\_\_\_ Firma Responsabile \_\_\_\_\_ Firma Direzione \_\_\_\_\_

Figura 2.5 : Stampa dell'ordine del cliente dopo inserimento in SAP

Dopo il consenso della direzione, si procede alla creazione della nota di carico che consente al personale specifico di avere le informazioni fondamentali riguardanti l'ordine, per esempio dati del cliente, la data di spedizione ed ovviamente, quantità e tipologia della merce da caricare.

Oltre alla ricezione e gestione degli ordini di vendita, l'ufficio commerciale gestisce anche i reclami dei clienti per prodotti difettosi: in tal caso si elabora una scheda reclamo che riassume i dati del cliente e soprattutto le informazioni sui problemi che il prodotto ha dato in esercizio; tale scheda viene poi inviata al controllo qualità per i necessari accertamenti del caso.

## 2.6 Stoccaggio del prodotto finito

### 2.6.1 Descrizione sistema di stoccaggio del prodotto finito

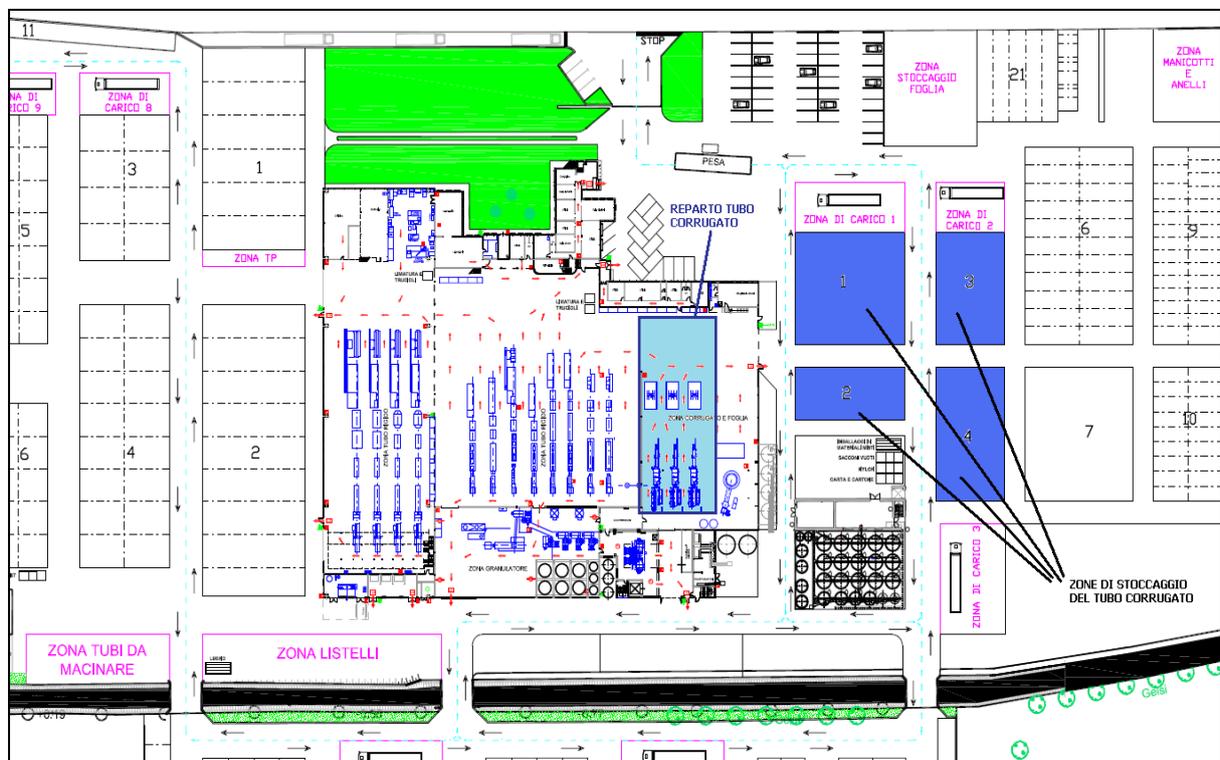


Figura 2.6.1 a: Zone di stoccaggio del tubo corrugato

Come si vede in Figura 2.6.1 a, lo stoccaggio del prodotto finito avviene all'esterno, nelle zone evidenziate in colore azzurro. I vari rotoli sono stoccati in aree chiamate **stive**, classificate secondo il diametro del prodotto e la lunghezza del rotolo; pertanto, nella stiva dei 50 metri e 90mm di diametro, sono depositati i rotoli con tubi di 90mm di diametro e lunghi 50 metri, di tutti e tre i tipi di tubo corrugato prodotti dall'azienda. In generale, le aree 1, 2, 3 sono dedicate allo stoccaggio dei rotoli da 50 metri mentre nell'area 4 sono stoccati i rotoli da 25 metri.



Figura 2.6.1 b : Stock esterno tubo corrugato

Ogni stiva è caratterizzata da un numero di file e da una quantità di piani stoccabili: per il tubo corrugato il numero massimo di piani per ogni stiva è 4 ,come si vede nella figura a fianco;il fattore di impilaggio,definito come i piani possibili oltre al primo,è dunque fisso.

Inizialmente, il rotolo che usciva dalla linea di produzione era impilato in modo casuale,senza alcuna struttura portante;per ovviare all'instabilità delle pile di rotoli e all'eccessivo spazio occupato,si è introdotta un'importante novità per il deposito del corrugato,cioè il sistema **Roll Box**. Tale sistema prevede l'utilizzo di gabbie in acciaio(visibili nelle Figure 2.6.1 b/c) in cui vengono collocati i rotoli,per poi essere impilati nelle stive;in questo modo si ha un deposito

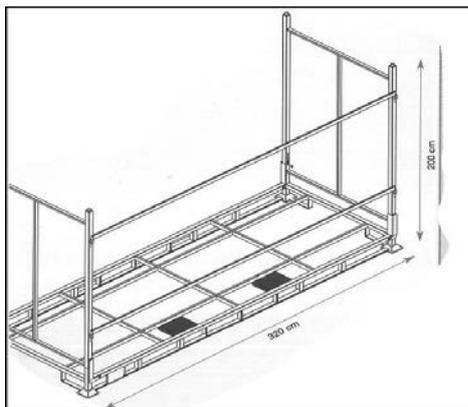


Figura 2.6.1 c : Struttura Roll Box

più sicuro perché le gabbie si incastrano rigidamente tra loro ed inoltre si ha un minor spazio occupato dal magazzino stesso. La razionalizzazione del magazzino esterno si è tradotta in una diminuzione importante dei costi di movimentazione e di carico della merce.

Per ogni diametro del tubo sono stabilite le modalità di collocazione dei rotoli nelle gabbie in modo tale da ottimizzarne il riempimento e quando non vengono utilizzate possono essere piegate ed impilate,occupando un

volume ridotto.



Figura 2.6.1 d: Deposito gabbie chiuse

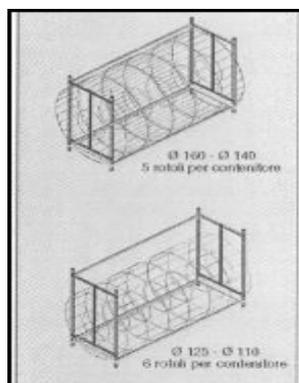


Figura 2.6.1 e :Disposizione rotoli 160mm e 125mm

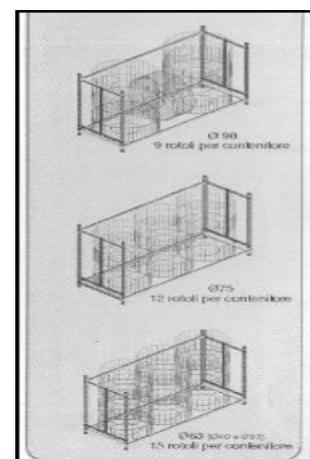


Figura 2.6.1 f: Disposizione rotoli 90mm,75mm.63-40 mm

### 2.6.2 Gestione delle scorte a magazzino

La gestione attuale del magazzino esterno per il tubo corrugato è automatica solamente in input. Attraverso gli avvolgitori di fine linea (vedi paragrafo 3.4,6), Replica, software gestionale che gestisce il magazzino e la produzione, è in grado di registrare il numero di rotoli di un certo diametro, prodotti da ogni linea e, considerando il peso al metro per ogni diametro di tubo, è capace di determinare le tonnellate in entrata al magazzino e di comunicare la situazione delle scorte anche al software amministrativo **SAP**. Tuttavia, per quanto riguarda il monitoraggio delle scorte in seguito al prelevamento di merce, il software Replica non è ancora attrezzato; in particolare, attualmente l'operatore del carico sa dove è stoccato un certo diametro di prodotto e, una volta verificate sulla nota di carico le quantità e i tipi di prodotto da prelevare, la determinazione delle scorte rimanenti della stiva viene fatta semplicemente in modo visuale.

Tale gestione non è particolarmente complessa viste le ridotte dimensioni dello stock esterno del corrugato e considerati i modesti volumi di produzione rispetto al PVC rigido; tuttavia è evidente che i processi di aggiornamento delle scorte, di assegnazione delle stive e di rintracciabilità del prodotto sono non ottimizzati, perché gestiti in modo empirico. In particolare, questo tipo di gestione presenta una logica di prelevamento **LIFO (last in first out)** perché la gabbia viene prelevata dalla stiva più "comoda", favorendo la permanenza della merce più vecchia. Quest'aspetto rappresenta un problema per Faraplan, perché, pur avendo gli assorbitori di raggi UV, il pigmento subisce comunque un processo di deperimento ed è quindi necessario che ci sia una buona rotazione della merce nello stock esterno.

Alla luce di tutti questi aspetti, in futuro si prevede di gestire con Replica anche il prelevamento della merce dal magazzino e il monitoraggio delle scorte stesse, come già viene fatto per il comparto PVC rigido. Questo progetto consiste innanzitutto nell'applicare sulla gabbia (chiamata anche paletta) un'etichetta con codice a barre che, letto da un apposito apparecchio di rilevazione, consente al carrellista di capire il tipo di prodotto e in quale stiva deve essere posizionato, aggiornando in automatico il livello della giacenza in entrata. Per ottimizzare anche la fase di prelevamento della merce, la nota di carico prodotta dall'ufficio commerciale sarà dotata di codice a barre per ogni tipo di prodotto da caricare, in modo tale che l'operatore possa ottenere dal sistema l'ubicazione delle merce da prelevare, secondo la logica **FIFO (first in first out)** che assicura una buona rotazione del magazzino. Inoltre, poiché il carico è costituito da rotoli e non da gabbie intere, l'aggiornamento delle scorte nelle stive avverrà tramite lettura del codice a barre presente sul manicotto di giunzione, apposto alla fine di ogni rotolo, in modo tale da conoscere quanti rotoli stanno lasciando la stiva perché oggetto di un ordine di carico..

In questo modo, sia il riempimento sia lo svuotamento del magazzino sono gestiti in modo razionale, ottimizzandone i tempi di movimentazione e i costi di gestione.

# CAPITOLO 3

## PRODUZIONE DEL TUBO CORRUGATO

### 3.1 Generazione dell'ordine di produzione

La logica di produzione dell'azienda è su magazzino, per cui si produce per ripristinare le scorte; l'azienda adotta un approccio produttivo **MTS (make to stock)** perché nel settore dell'edilizia e delle tubazioni in generale, il tempo che il cliente è disposto ad aspettare prima di ricevere la merce ( il cosiddetto **D-TIME**) è molto piccolo e, considerato il tempo medio di attrezzaggio della linea di estrusione pari a 4 ore circa, è conveniente avere la merce già prodotta, in modo tale da soddisfare in tempi rapidi la domanda di mercato.

Il livello delle giacenze per il tubo corrugato deve possibilmente essere compreso tra le 260 e le 350 tonnellate; se il livello delle scorte scende oltre il limite minimo, significa che per alcuni tipi di diametri si ha lo **stock out**, per cui è impossibile soddisfare gli eventuali ordini. Se invece le giacenze superano il livello massimo, non è più permesso stoccare altro prodotto ed è necessario fermare le linee di produzione.

Il documento di riferimento per la determinazione dell'ordine produttivo è il **riepilogo MRP**, calcolato giornalmente a mezzanotte, che fornisce le informazioni generali utili per la programmazione della produzione.

La Figura 3.1 a rappresenta un esempio di riepilogo MRP per il tubo corrugato; i campi principali sono:

-**STOCK**: rappresenta il numero di rotoli di prodotto presenti in magazzino in un determinato giorno.

-**ORDINI TOTALI**: è la somma degli **ORDINI AL CARICO** e degli **ORDINI GIA' EVASI**; i primi sono i rotoli in carico mentre i secondi sono i rotoli già inviati ai clienti.

-**AVAILABLE TO PROMISE (ATP)**: è il valore delle scorte ancora disponibili; si calcola facendo la differenza tra il valore dello stock e gli ordini totali.

-**SPEDIZIONI**: indicano l'entità delle spedizioni nelle settimane successive (indicate con la sigla XX/YY), dove XX rappresenta il numero progressivo della settimana e YY rappresenta l'anno di riferimento.

**-CONSUMO MEDIO TRIMESTRALE:** è la media delle spedizioni settimanali, calcolata su un periodo di tre mesi.

**-INDICE DI COPERTURA (COP):** rappresenta il numero di settimane in cui si riesce a soddisfare alla domanda con il valore delle scorte specificato alla voce **STOCK**; esso è calcolato come il rapporto tra lo stock e il consumo medio settimanale.

**-INDICE DI COPERTURA NETTO (COP NETTO):** esprime il rapporto tra l'ATP e il consumo medio settimanale, rappresentando il numero di settimane in cui la domanda è soddisfatta tenendo conto delle giacenze effettivamente ancora disponibili in magazzino.

Codice materiale	Descrizione articolo	U.M.	Stock	Tot. Ord.	Scaduti	In. Cons.	Sped. 15 gg	ATP	Sp. 37/10	Sp. 38/10	Sp. 39/10	Sp. 40/10	Med. Sp.	COP	COP. Netta
38000.04025.00059	ROLL CABLE Ø 40 MT.25 450 N IMQ - CE	PZ	297,000	30,000	30,000	0,000	0,000	267,000	63,000	35,000	33,000	55,000	46,500	6,787	5,742
38000.04050.00059	ROLL CABLE Ø 40 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	2.075,000	551,000	280,000	271,000	0,000	1.524,000	338,000	292,000	491,000	478,000	299,750	5,191	3,812
38000.05025.00059	ROLL CABLE Ø 50 MT.25 450 N IMQ - CE	PZ	271,000	10,000	14,000	0,000	0,000	261,000	48,000	35,000	34,000	95,000	53,000	3,113	4,925
38000.05050.00059	ROLL CABLE Ø 50 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	3.732,000	196,000	196,000	197,000	0,000	3,339,000	715,000	340,000	744,000	552,000	388,500	8,217	5,363
38000.06325.00059	ROLL CABLE Ø 63 MT.25 450 N IMQ - CE	PZ	341,000	3,000	3,000	0,000	0,000	338,000	45,000	45,000	45,000	10,000	45,000	2,720	2,720
38000.06350.00059	ROLL CABLE Ø 63 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	1.951,000	473,000	473,000	473,000	12,000	1,052,000	1,052,000	26,000	17,000	10,000	17,000	20,000	20,000
38000.07525.00059	ROLL CABLE Ø 75 MT.25 450 N IMQ - CE	PZ	356,000	2,000	2,000	0,000	0,000	354,000	17,000	26,000	17,000	10,000	17,000	9,500	9,500
38000.07550.00059	ROLL CABLE Ø 75 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	2.019,000	267,000	267,000	267,000	40,000	1,579,000	590,000	378,000	567,000	687,000	555,500	3,635	3,154
38000.09025.00059	ROLL CABLE Ø 90 MT.25 450 N IMQ - CE	PZ	226,000	2,000	2,000	0,000	0,000	224,000	30,000	39,000	16,000	30,000	28,750	7,861	7,781
38000.09050.00059	ROLL CABLE Ø 90 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	2.605,000	570,000	570,000	570,000	49,000	2.035,000	775,000	1.073,000	916,000	946,000	809,000	809	2,194
38000.11025.00059	ROLL CABLE Ø 110 MT.25 450 N IMQ - CE	PZ	218,000	0,000	0,000	0,000	0,000	218,000	36,000	10,000	8,000	42,000	20,000	8,083	9,083
38000.11050.00059	ROLL CABLE Ø 110 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	645,000	1.364,000	842,000	462,000	60,000	719,000	1.103,000	822,000	767,000	925,000	809,000	7,713	0,795
38000.12525.00059	ROLL CABLE Ø 125 MT.25 450 N IMQ - CE	PZ	171,000	0,000	0,000	0,000	0,000	171,000	12,000	20,000	4,000	30,000	16,500	10,364	10,364
38000.12550.00059	ROLL CABLE Ø 125 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	775,000	1.160,000	756,000	288,000	116,000	385,000	1.058,000	650,000	881,000	1.150,000	934,750	0,829	0,412
38000.12550.01059	ROLL CABLE Ø125 NERO M.50 450 N IMQ - CE	PZ	58,000	0,000	0,000	0,000	0,000	58,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
38000.14050.00059	ROLL CABLE Ø 140 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	644,000	106,000	73,000	33,000	0,000	538,000	86,000	100,000	88,000	265,000	134,750	4,779	3,993
38000.16050.00059	ROLL CABLE Ø 160 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	349,000	965,000	741,000	224,000	0,000	616,000	585,000	458,000	522,000	984,000	637,250	0,548	0,967
Descr. Gerar. Roll Cable			16.733,000	6.013,000	3.715,000	2.021,000	277,000	10.720,000	6.548,000	4.938,000	5.932,000	7.253,200	6.167,800	95,700	85,749
38200.05050.00059	ROLL COM Ø 50 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	211,000	61,000	61,000	0,000	0,000	150,000	4,000	8,000	15,000	9,000	9,000	23,444	16,667
38200.06350.00059	ROLL COM Ø 63 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	331,000	187,000	181,000	6,000	0,000	144,000	91,000	94,000	19,000	87,000	72,750	4,550	1,979
38200.09050.00059	ROLL COM Ø 90 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	53,000	0,000	0,000	0,000	0,000	53,000	2,000	8,000	6,000	6,000	5,500	9,636	9,636
38200.11050.00059	ROLL COM Ø 110 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	378,000	136,000	136,000	0,000	0,000	242,000	86,000	5,000	3,000	0,000	23,500	16,085	10,298
38200.12550.00059	ROLL COM Ø 125 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	582,000	240,000	152,000	53,000	35,000	342,000	180,000	60,000	60,000	162,000	115,500	5,039	2,961
38200.16050.00059	ROLL COM Ø 160 MT.50 450 N IMQ - CE	PZ	269,000	8,000	8,000	0,000	0,000	261,000	4,000	23,000	18,000	0,000	11,250	23,911	23,200
Descr. Gerar. Roll Com			1.824,000	632,000	538,000	59,000	35,000	1.192,000	367,000	198,000	121,000	264,000	237,500	82,665	64,741
38100.09050.00058	ROLL DRAIN Ø 90 MT.50	PZ	288,000	30,000	20,000	10,000	0,000	268,000	240,000	74,000	39,000	52,000	101,250	2,943	2,647
38100.11050.00058	ROLL DRAIN Ø 110 MT.50	PZ	74,000	41,000	23,000	18,000	0,000	33,000	61,000	171,000	78,000	140,000	112,500	0,658	0,293
38100.12550.00058	ROLL DRAIN Ø 125 MT.50	PZ	500,000	69,000	36,000	33,000	0,000	431,000	238,000	130,000	73,000	115,000	139,000	3,597	3,101
38100.16050.00058	ROLL DRAIN Ø 160 MT.50	PZ	269,000	27,000	23,000	4,000	0,000	242,000	87,000	116,000	32,000	86,000	80,250	3,352	3,016
Descr. Gerar. Roll Drain			1.141,000	167,000	102,000	65,000	0,000	974,000	626,000	491,000	222,000	393,000	433,000	10,550	9,057

Figura 3.1 a : Esempio di riepilogo MRP

In generale, l'indicatore che determina il tipo (o figura) di corrugato da produrre è il COP, in quanto si privilegia la produzione del prodotto con COP più basso. Tuttavia, si devono considerare anche altri aspetti, per esempio la rotazione del prodotto in magazzino e il periodo temporale in cui ci si trova; infatti, a parità di COP, si produce la figura che presenta

una rotazione più alta perché significa che il prodotto è più richiesto. Inoltre, alla fine del mese le spedizioni tendono a diminuire per cui, anche se la figura di tubo presenta un basso COP, non ha senso programmarne una massiccia produzione.

Mediando tutti questi fattori, si determina il tipo di tubo da produrre; riguardo la quantità di prodotto (e quindi il numero di giorni di produzione), si deve far in modo che la quantità prodotta sia compatibile con l'intervallo ottimale delle giacenze, segnalato precedentemente.

In particolare, si procede al calcolo delle tonnellate prodotte tramite la formula seguente:

$$P = k * c * v * t \quad (3.1)$$

dove **P** è il peso in tonnellate della produzione totale, **c** è il peso di un metro di tubo in g/m, **v** è la velocità di produzione della linea espressa in m/min, **t** è il tempo di produzione in minuti e **k** il fattore di conversione dei grammi in tonnellate. Se tale produzione porta al superamento del limite massimo consentito, si riduce il periodo di produzione agendo sulla variabile **t** e, preferibilmente, si producono figure che, avendo **c** minore consentono un livello di giacenza sostenibile; in questo modo, le linee sono caricate per essere teoricamente sempre in esercizio.

Il procedimento di programmazione della produzione è evidenziato nell'esempio sottostante:

#### **Dati:**

situazione stock al venerdì mattina: 330 ton; prodotto 1 e 2;

giorni di produzione: venerdì, sabato, domenica;  $v_1 = 15$  m/min  $v_2 = 19$  m/min;

$c_1 = 780$  g/m;  $c_2 = 420$  g/m; spedizioni previste = 15 ton.

#### **Svolgimento**

$$t = 24 * 3 * 60 = 4320 \text{ min}$$

$$P_1 = k * c_1 * v_1 * t = 10^{-6} * 780 * 15 * 4320 = 50,54 \text{ ton}$$

$$P_2 = k * c_2 * v_2 * t = 10^{-6} * 420 * 19 * 4320 = 34,5 \text{ ton}$$

$$\text{Stock} = 330 - 15 + 50,54 + 34,5 = 400 \text{ ton}$$

Come si vede dai calcoli, se si fanno tre giorni di produzione di entrambi i prodotti, il limite massimo delle giacenze è superato; quindi, la programmazione verrà fatta in modo tale da ridurre i giorni di produzione di queste due figure, spostando l'attenzione su altri diametri di tubo che permettano la continuità del funzionamento della linea.

Il frutto di questo tipo di valutazione è il **piano di produzione settimanale** del corrugato, illustrato in Figura 3.1 b.

ORE	LUNEDI 18	MARTEDI 19	MERCOLEDI 20	GIOVEDI 21	VENERDI 22	SABATO 23	DOMENICA 24	LUNEDI 25	MARTEDI 26	MERCOLEDI 27	GIOVEDI 28	
	WEEK 42							WEEK 43				
1	G125 MARRONE DEKURA	G125 MARRONE DEKURA	G125 MARRONE DEKURA	G125 GRIGIA RID XI	G125 GRIGIA RID XI	G125 GRIGIA RID XI	G125 GRIGIA RID XI	G125 SABBIA RID XI	G125 SABBIA RID XI	G125 SABBIA RID XI	G125 SABBIA RID XI	
2												
3												
4												
5	50 PN16 BI PLUM	50 PN16 BI PLUM	50 PN16 BI PLUM	50 PN16 BI PLUM	50 PLUV. MARRON PLUM	50 PLUV. MARRON PLUM	50 PLUV. MARRON PLUM	50 PLUV. GRIGIO DEKURA	50 M1 FARAPACT DEKURA	50 M1 FARAPACT DEKURA	50 M1 FARAPACT DEKURA	
6	180 M1 FARAPACT DEKURA	180 BLU IVORY DEKURA	180 BLU IVORY DEKURA	180 BLU IVORY DEKURA	180 BLU RED DEKURA	180 BLU REVOL DEKURA	180 BLU REVOL DEKURA					
7	40 M1 FARAPACT DEKURA	40 M1 FARAPACT DEKURA	40 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	32 M1 FARAPACT DEKURA	
8	125 M1 FARAPACT DEKURA	125 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	100 M1 FARAPACT DEKURA	
9	50 PN16 NF PLUM	50 PN16 BI PLUM	50 PN16 BI PLUM	50 PN16 BI PLUM	50 PN16 BI PLUM	50 PN16 NF PLUM						
10	50 PLUV. GRIGIO C. MESCOLO	50 PLUV. GRIGIO C. MESCOLO	50 PLUV. GRIGIO C. MESCOLO	50 M1 FARAPACT DEKURA	100 BLU DRAIN DEKURA	50 BLU DRAIN DEKURA	100 BLU RED DEKURA					
11	110 PN10 SENZA BCCO	110 PN10 AF DEKURA	110 SN4 DEKURA	110 SN4 DEKURA	110 SN4 DEKURA	110 SN4 DEKURA	110 SN4 DEKURA	110 SN4 DEKURA	180 PN16 NF DEKURA	50 PN16 NF DEKURA	180 PN16 NF DEKURA	
12	200 S8 C. MESCOLO	200 S8 DEKURA	200 S8 DEKURA	200 BLU IVORY DEKURA	200 BLU IVORY DEKURA	200 BLU IVORY DEKURA	200 BLU IVORY DEKURA	200 BLU RED DEKURA	200 BLU RED DEKURA	200 BLU RED DEKURA	200 BLU DRAIN DEKURA	
13	LINEA 1											
14	PIANO DI PRODUZIONE DEL TUBO CORRUGATO											
15	LINEA 2											
16	GIORNO DI PRODUZIONE											
17	GIORNO D'ATTREZZAGGIO											
18	GIORNO DI FERMATA											
19	LINEA 3											
20	GIORNO DI PRODUZIONE											
21	GIORNO DI FERMATA											
22	GIORNO DI PRODUZIONE											
23	GIORNO DI FERMATA											
24	GIORNO DI PRODUZIONE											
25	GIORNO DI FERMATA											
26	GIORNO DI PRODUZIONE											
27	GIORNO DI FERMATA											
28	GIORNO DI PRODUZIONE											
29	GIORNO DI FERMATA											
30	GIORNO DI PRODUZIONE											
31	GIORNO DI FERMATA											
32	GIORNO DI PRODUZIONE											
33	GIORNO DI FERMATA											
34	GIORNO DI PRODUZIONE											
35	GIORNO DI FERMATA											
36	GIORNO DI PRODUZIONE											
37	GIORNO DI FERMATA											
38	GIORNO DI PRODUZIONE											
39	GIORNO DI FERMATA											
40	GIORNO DI PRODUZIONE											
41	GIORNO DI FERMATA											
42	GIORNO DI PRODUZIONE											
43	GIORNO DI FERMATA											
44	GIORNO DI PRODUZIONE											
45	GIORNO DI FERMATA											
46	GIORNO DI PRODUZIONE											
47	GIORNO DI FERMATA											
48	GIORNO DI PRODUZIONE											
49	GIORNO DI FERMATA											
50	GIORNO DI PRODUZIONE											
51	GIORNO DI FERMATA											
52	GIORNO DI PRODUZIONE											
53	GIORNO DI FERMATA											
54	GIORNO DI PRODUZIONE											
55	GIORNO DI FERMATA											
56	GIORNO DI PRODUZIONE											
57	GIORNO DI FERMATA											
58	GIORNO DI PRODUZIONE											
59	GIORNO DI FERMATA											
60	GIORNO DI PRODUZIONE											
61	GIORNO DI FERMATA											
62	GIORNO DI PRODUZIONE											
63	GIORNO DI FERMATA											
64	GIORNO DI PRODUZIONE											
65	GIORNO DI FERMATA											
66	GIORNO DI PRODUZIONE											
67	GIORNO DI FERMATA											
68	GIORNO DI PRODUZIONE											
69	GIORNO DI FERMATA											
70	GIORNO DI PRODUZIONE											
71	GIORNO DI FERMATA											
72	GIORNO DI PRODUZIONE											
73	GIORNO DI FERMATA											
74	GIORNO DI PRODUZIONE											
75	GIORNO DI FERMATA											
76	GIORNO DI PRODUZIONE											
77	GIORNO DI FERMATA											
78	GIORNO DI PRODUZIONE											
79	GIORNO DI FERMATA											
80	GIORNO DI PRODUZIONE											
81	GIORNO DI FERMATA											
82	GIORNO DI PRODUZIONE											
83	GIORNO DI FERMATA											
84	GIORNO DI PRODUZIONE											
85	GIORNO DI FERMATA											
86	GIORNO DI PRODUZIONE											
87	GIORNO DI FERMATA											
88	GIORNO DI PRODUZIONE											
89	GIORNO DI FERMATA											
90	GIORNO DI PRODUZIONE											
91	GIORNO DI FERMATA											
92	GIORNO DI PRODUZIONE											
93	GIORNO DI FERMATA											
94	GIORNO DI PRODUZIONE											
95	GIORNO DI FERMATA											
96	GIORNO DI PRODUZIONE											
97	GIORNO DI FERMATA											
98	GIORNO DI PRODUZIONE											
99	GIORNO DI FERMATA											
100	GIORNO DI PRODUZIONE											

Figura 3.1 b: Piano di produzione del tubo corrugato

Osservando il piano di produzione, si nota che si cerca sempre di avere funzionanti almeno due linee e la rimanente in attrezzaggio, in modo da saturare completamente il personale impiegato.

La traduzione ultima del piano di produzione è costituita dall'**ordine di produzione**, un documento che, apposto su ogni linea, consente all'operatore di produrre il tubo richiesto, nella



Figura 3.1 c : Ordine di produzione

giusta quantità, con le modalità di imballaggio e stoccaggio specifiche per il prodotto considerato. La Figura 3.1.c è un esempio di ordine di produzione.

Infine, è necessario chiarire che il piano di produzione sopra descritto è soggetto spesso a variazioni dovute a possibili problemi sulle linee o a carichi di lavoro intensi, che portano per esempio al funzionamento di tutte le linee di produzione.

### 3.2 Descrizione layout del reparto

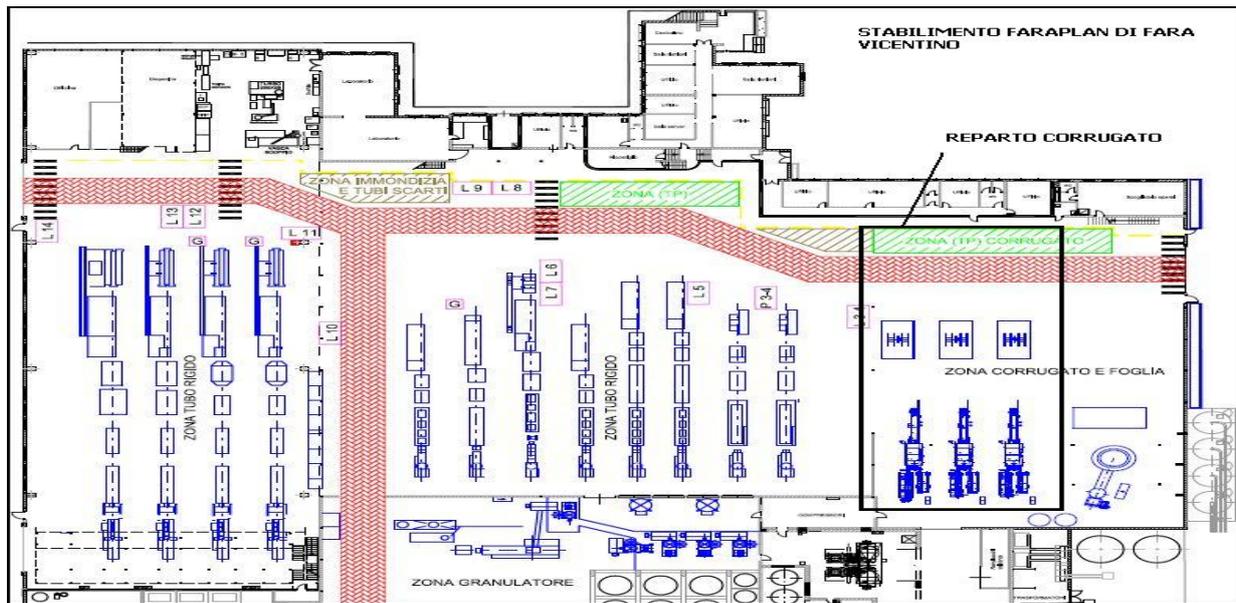


Figura 3.2 a :Layout di stabilimento

Il reparto di produzione del tubo corrugato è situato nella parte destra dello stabilimento; esso confina con il reparto produzione del tubo in PVC rigido ed con l'estrusore a bolla per la produzione di film in polietilene.

Il reparto è costituito da tre linee di produzione, disposte parallelamente tra loro e, funzionalmente, composte dalle stesse tipologie di macchine, come si vede in Figura 3.2.b.

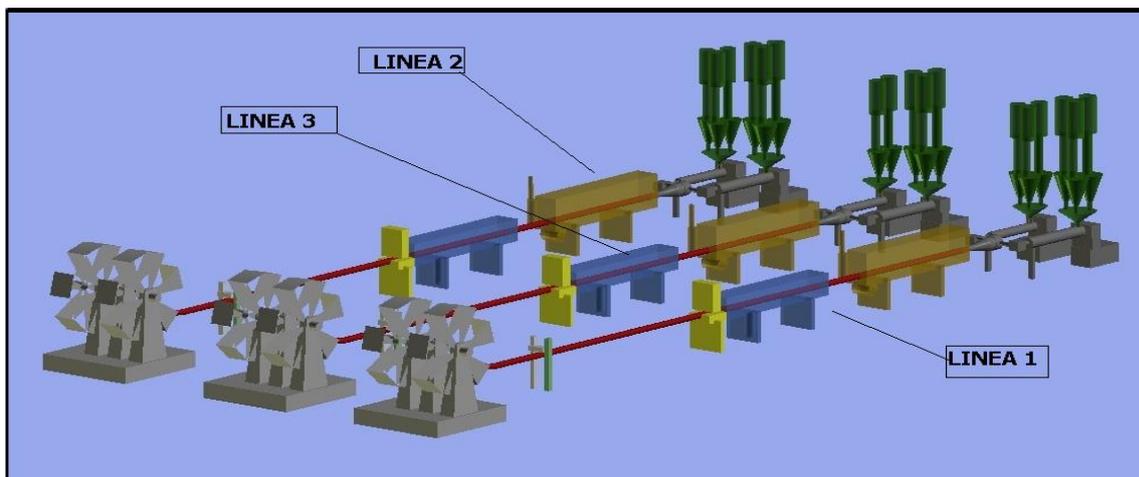


Figura 3.2b :Visione 3D del reparto tubo corrugato

Storicamente, il reparto nasce nel 2005 in seguito allo smantellamento di due macchine per la produzione del film in polietilene. All'inizio sono state poste le linee più esterne (linea uno e linea due), per poi aggiungere in seguito la linea tre, disposta centralmente tra le due preesistenti.

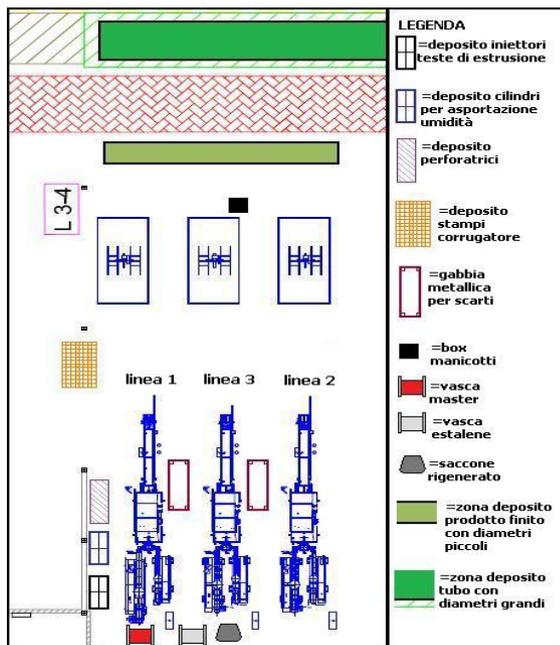


Figura 3.2 c : Elementi produttivi secondari del reparto

Oltre alle linee di produzione, sono presenti anche altri elementi che permettono o facilitano le procedure lavorative all'interno del reparto. In primo luogo, dietro le linee sono situate le vasche di pescaggio del master, dell'estalene e del materiale rigenerato; in secondo luogo, sulla parte sinistra del reparto sono posizionati i depositi degli iniettori delle teste di estrusione, dei cilindri soffianti della vasca di raffreddamento e delle perforatrici, tutto ciò classificato in base al diametro del tubo; gli scarti di lavorazione vengono depositati provvisoriamente in box tra le linee, prima di essere trasportati al mulino per la macinazione. Inoltre, è presente una zona dedicata allo stoccaggio delle casse per gli

stampi del corrugatore (vedi paragrafo 3.4.3), differenziati in base al diametro del prodotto.

Infine, sono presenti due aree di stoccaggio del prodotto finito in cui gli operatori collocano i rotoli prodotti all'interno delle gabbie metalliche: una prima area si trova immediatamente dopo gli avvolgitori ed è adibita al deposito provvisorio delle gabbie di prodotto con i diametri più piccoli, mentre la seconda area si trova alla fine del reparto e in essa vengono stoccate le gabbie dei prodotti con il diametro maggiore.

### 3.3 Gestione del reparto

La gestione del reparto consiste principalmente nel monitoraggio del processo produttivo e nell'assegnazione degli ordini di produzione alle rispettive linee.

La raccolta dei dati di processo è fatta direttamente dall'operatore, tramite compilazione di un'apposita scheda cartacea; in essa sono registrati i principali dati specifici del prodotto, quali il diametro, il peso al metro espresso in grammi/metro e il valore del peso al metro reale, ottenuto dopo il prelevamento di un campione dalla linea. Altri indicatori caratteristici della scheda di rilevazione sono il fattore di correzione e il "rapporto interno/esterno": il primo è l'indicatore della differenza tra peso al metro reale e settato mentre il secondo consiste nel rapporto tra il peso dello strato interno e il peso dello strato esterno e fornisce informazioni sull'incidenza di entrambi gli strati sul peso al metro del prodotto.

Infine, si evidenziano le materie prime coinvolte per ogni coppia estrusore-coestrusore di ogni linea, specificandone il materiale principale, secondario e il master.

L'assegnazione dei carichi di lavoro alle linee risponde a un criterio generale, basato sui differenti diametri ottimali per ogni linea di produzione. Solitamente, i diametri piccoli (40,50,63 mm) sono prodotti dalla linea tre, i diametri medi (75,90,110 mm) si producono sulla linea due mentre per i diametri grandi (110,125,160) si privilegia la linea uno. Date le diverse dimensioni delle viti di estrusione, anche la portata di massa fornita è diversa nelle tre linee, per cui all'aumentare del diametro del tubo da produrre si assegna la produzione alla linea che garantisce facilmente una certa portata di massa, sufficiente per estrudere il diametro voluto.

Tuttavia, nella pratica questo criterio non è sempre rispettato; infatti, può accadere che in una linea usata per diametri piccoli si debba estrudere un prodotto con diametro grande, ma in questo caso, l'unità di estrusione non lavora nelle condizioni di ottimo in quanto la potenzialità richiesta non è adeguata alle dimensioni delle viti, aumentandone l'inefficienza. Pertanto, in questi casi si deve operare un *trade-off* tra l'urgenza del prodotto e l'utilizzo ottimale del reparto. Inoltre, lo spostamento delle produzioni tra le linee prevede la valutazione dell'adeguatezza dell'avvolgitore, poiché esso deve essere come dimensione in grado di accogliere rotoli di diametri più grandi rispetto a quelli usuali.

Inoltre, il caricamento delle linee produttive è studiato in modo che le fasi di attrezzaggio, ossia il cambiamento di tutti gli elementi di linea in relazione ai vari diametri prodotti, avvengano in giornata, così possono essere seguiti dal personale specifico.

Poiché il discriminante del tubo corrugato è il diametro, si tende a produrre tutti e tre i tipi di prodotto quando la linea è attrezzata, in modo tale da ridurre i tempi di fermata per cambio produzione; tutto ciò è valutato compatibilmente con le necessità di ripristino delle scorte, accennato al paragrafo 3.1

### 3.4 Descrizione e funzionamento della linea di estrusione per il tubo corrugato

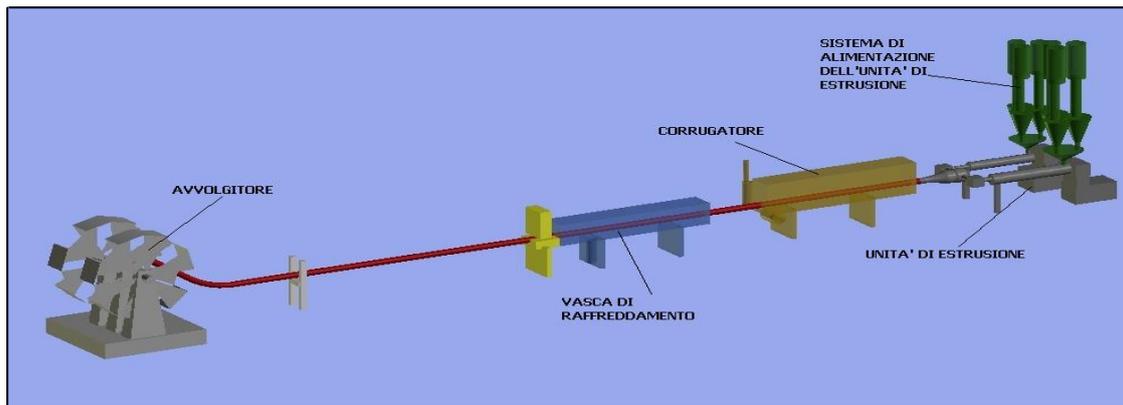


Figura 3.4 : Componenti principali della linea di estrusione per tubo corrugato

Come si vede in Figura 3.4, la linea di estrusione per tubo corrugato in polietilene è costituita da cinque elementi fondamentali:

- il sistema di alimentazione dell'unità di estrusione;
- l'unità di estrusione;
- il corrugatore;
- la vasca di raffreddamento;
- l'avvolgitore;

Anche se le linee presentano macchine di costruttori diversi, la struttura meccanica e il loro funzionamento è molto simile, per cui nella trattazione si è scelto di analizzare la terza linea perché tecnologicamente è la più recente. Le differenze che si possono riscontrare tra le linee riguardano essenzialmente le unità di estrusione, le quali presentano i medesimi sistemi funzionali, organizzati e posizionati in modo diverso all'interno della macchina.

Globalmente, la linea si può classificare come sincrona, in cui non è presente alcun *buffer* (piccolo magazzino di disaccoppiamento) tra le stazioni. Essendo il tubo corrugato un prodotto continuo e non discreto, è fondamentale che le diverse macchine agenti siano sincronizzate tra loro e lavorino nelle condizioni ottimali, in modo tale da non causare problemi alla stazione di lavorazione immediatamente successiva.

Ogni elemento di linea citato sopra sarà ora descritto sia dal punto di vista meccanico o strutturale, sia dal punto di vista funzionale in modo tale da avere un quadro sufficientemente chiaro sulle fasi produttive che caratterizzano il tubo corrugato e sulle apparecchiature tecnologiche che rendono possibile tale produzione.

### 3.4.1 Il sistema di alimentazione dell'unità di estrusione

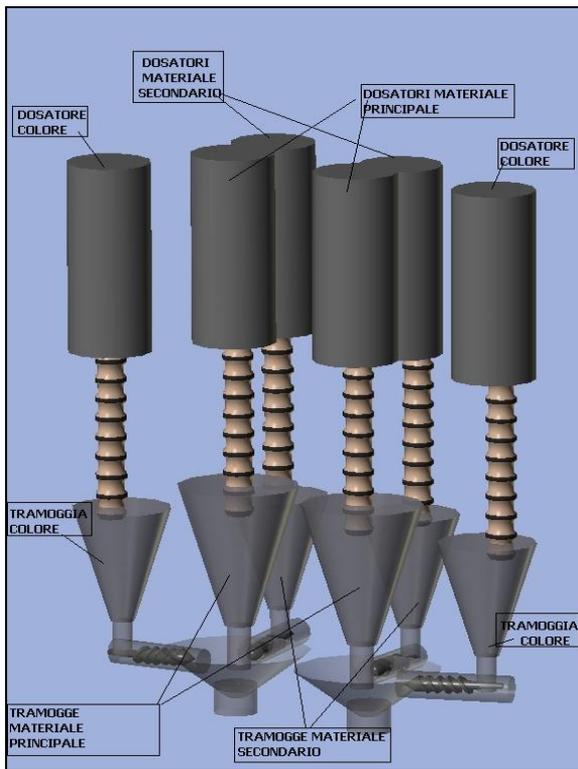


Figura 3.4.1 a : gruppi dosatori-tramogge

La Figura 3.4.1 a rappresenta la struttura generale del sistema di alimentazione di linea. Sia l'estrusore sia il coestrusore possiedono un sistema **dosatore-tramoggia** specifico che può prevedere al massimo tre tramogge (con i relativi dosatori); in linea generale, come si vede dalla figura a fianco, le tramogge più grandi servono per l'alimentazione del materiale base mentre quelle più piccole si occupano del materiale secondario e del colore. Quindi, sia lo strato esterno che quello interno del prodotto, sono il risultato della miscelazione di tre componenti al massimo.

Particolarmente nella linea tre,

l'alimentazione del coestrusore per lo strato

interno prevede l'impiego di due soli componenti ossia il materiale principale e il colore (o master), pertanto i gruppi dosatore-tramoggia per lo strato interno sono solamente due, come si vede in Figura 3.4.1 b.

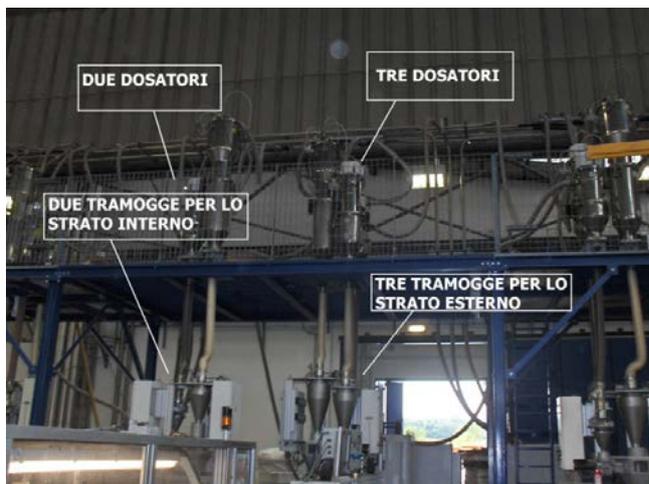


Figura 3.4.1 b : Sistema alimentazione specifico linea 3

I dosatori sono essenzialmente magazzini ridotti in cui il materiale sosta prima di essere caricato in tramoggia; essi presentano un livello massimo ed un livello minimo, superato il quale il materiale viene prelevato dai silos tramite un sistema di aspirazione.

L'elemento che determina effettivamente la portata di massa del materiale entrante nell'estrusore è la tramoggia che, tramite il sistema gravimetrico, è in grado di calcolare la portata di massa del componente entrante, a seconda della percentuale in peso impostata; il passaggio del materiale (e quindi la sua portata) viene regolata tramite delle viti azionate elettricamente (vedi Figura 4.3.1 a).

In questo modo, l'estrusore è alimentato continuamente ed essendo una macchina volumetrica, permette di aumentare la portata di massa finale agendo non solo sul numero di giri-vite della macchina, ma anche aumentando la quantità di materiale immessa nel volume tra le due creste della vite.

Inoltre, il sistema dosatore-tramogge consente di eseguire un efficace degassamento del materiale, eliminando le residue particelle di sostanze volatili che potrebbero causare problemi all'interno dell'unità di estrusore.

### 3.4.2 L'unità di estrusione

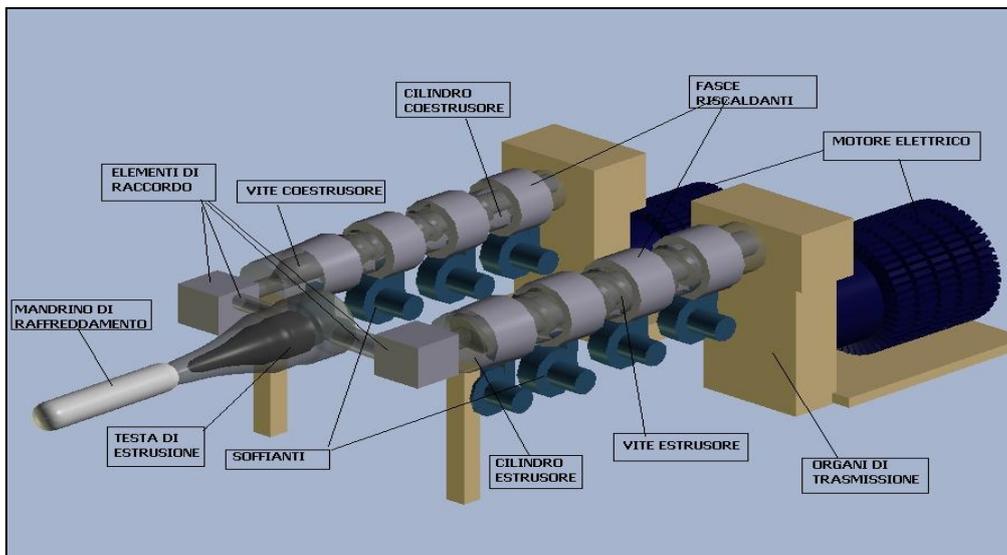


Figura 3.4.2 a :Schema generale unità di estrusione

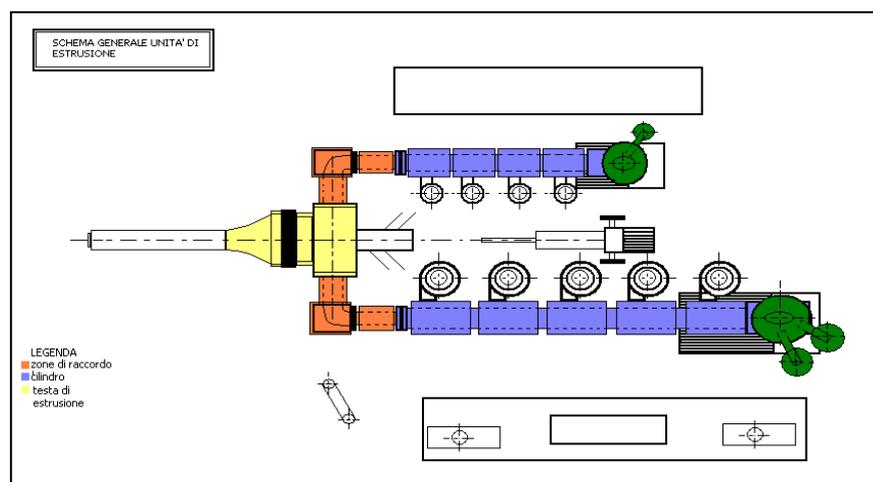


Figura 3.4.2 b: Zone strutturali componenti l'unità di estrusione

L'unità di estrusione è costituita da un **estrusore** per lo strato esterno e da un **coestrusore** per lo strato interno, entrambi monoviti. La diversa portata di massa imposta dal diametro dei due tubi concentrici che comporranno il prodotto finito impone che i due estrusori costituenti

l'unità siano dimensionalmente diversi, con l'estrusore leggermente più grande del coestrusore.

Nello specifico, si possono individuare tre zone strutturali che compongono l'unità di estrusione, ossia **il cilindro, gli elementi di raccordo e la testa di estrusione (filiera).**

**1) IL CILINDRO** è una struttura tubolare in acciaio legato spesso alcuni centimetri e resistente ad alte temperature; esso viene portato alla temperatura di lavorazione del polimero tramite delle fasce riscaldanti in materiale ceramico che ricoprono la sua superficie e, per facilitarne la gestione e il monitoraggio della temperatura, è diviso in zone a cui compete una specifica fascia riscaldante. Oltre a contribuire al raggiungimento e al mantenimento della temperatura di lavorazione, il cilindro fornisce la sede in cui è situata la

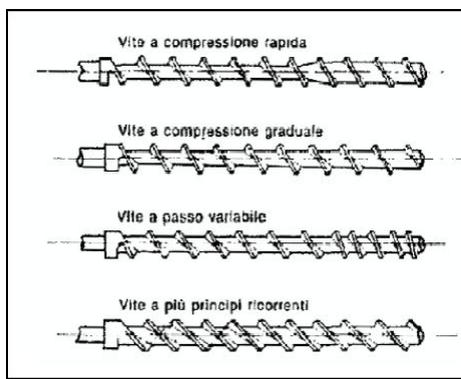


Figura 3.4.2 c Tipologie di viti di estrusione

**vite**, elemento strutturale che permette l'estrusione del materiale plastico. Le viti di estrusione sono costituite da materiale ricercato e la loro produzione è molto complessa, sia dal punto di vista progettuale che pratico; infatti, dopo un'attenta progettazione virtuale, una barra di acciaio speciale viene lavorata tramite asportazione di truciolo per ottenere il profilo

delle creste. In seguito, la superficie della vite è lucidata e sottoposta a nitrurazione, in modo tale da

raggiungere elevate durezza superficiali che ne limitano l'usura per effetto dell'attrito con le pareti del cilindro. La durezza superficiale è particolarmente importante in caso di additivi molto duri come la fibra di vetro o come nel caso dell'estalene. Ogni vite è definita da due numeri, per esempio 45-30: il primo rappresenta il valore del diametro esterno in mm mentre il secondo rappresenta il valore del rapporto  $L/D$ , dove  $D$  è il diametro esterno della vite (mm) ed  $L$  è la lunghezza della vite (mm). Poiché l'estrusore è una pompa che deve creare un delta di pressione necessario al passaggio del materiale in filiera, la vite comprime il materiale attraverso la diminuzione del volume a disposizione del polimero; pertanto, ci sono viti a

passo costante ma con diametro del nocciolo variabile, oppure viti con diametro del nocciolo costante ma passo variabile: in ogni caso, la vite riduce il volume a disposizione del materiale tra le creste, aumentandone la pressione.

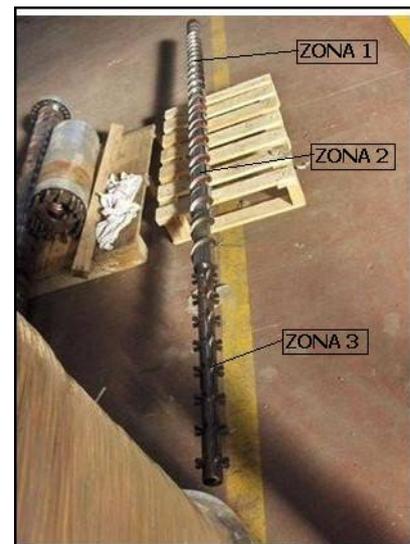


Figura 3.4.2 d: Settori della vite di estrusione

Nello specifico, le viti utilizzate nell'unità di estrusione della linea tre sono di tipo a passo variabile e diametro del nocciolo costante, con una struttura tripartita a seconda del tipo di azione che la vite deve esercitare sul polimero. La movimentazione delle viti è attuata tramite un motore trifase asincrono, munito di inverter per la regolazione dei giri in uscita.

2) **GLI ELEMENTI DI RACCORDO** sono delle strutture che permettono il passaggio del fuso dall'estrusore alla filiera e prevedono anch'essi delle fasce riscaldanti per garantire il mantenimento della temperatura di processo. La progettazione del canale interno dei

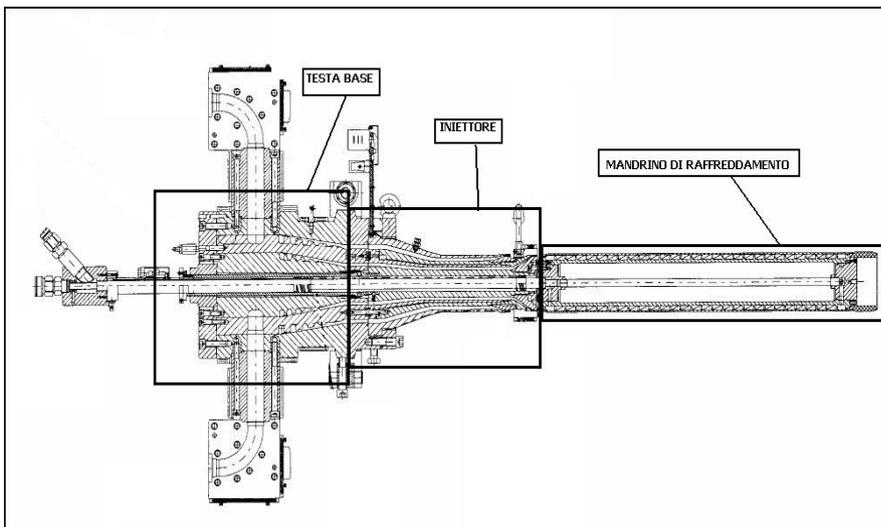


raccordi è tesa a

limitare il più possibile le perdite di carico per cui le superfici di contatto sono lisce e il canale interno è privo di spigoli vivi o possibili zone di reflusso del fuso.

Figura 3.4.2 e: Elementi di raccordo

3) **LA TESTA DI ESTRUSIONE O FILIERA** è la parte terminale dell'unità di estrusione: essa è costituita da acciaio inox AISI ed è progettata in modo tale da creare due flussi concentrici di materiale; la filiera, rappresentata in Figura 3.4.2 f, presenta un modulo fisso chiamato



**testa base**, un modulo variabile denominato **iniettore** che cambia in base al diametro del prodotto e un **mandrino**, anch'esso variabile in funzione del diametro del tubo corrugato.

La testa base raccoglie i due fusi provenienti dall'estrusore e dal

Figura 3.4.2 f : Struttura modulare della testa di estrusione

coestrusore e ne determina il flusso in due tubi concentrici, con progressiva diminuzione del loro diametro.

L'elemento successivo è l'iniettore, il quale caratterizza le dimensioni finali del tubo; esso è ancorato alla testa base tramite un sistema di viti rinforzato da una ganascia metallica esterna. Infine, il mandrino in alluminio permette l'adesione tra i due strati e il loro raffreddamento.

Riguardo al flusso del materiale all'interno della testa, è opportuno che esso sia il più possibile regolare, garantendo, come già detto per i raccordi, l'assenza di retro flussi o accumuli. In particolare, i fusi provenienti dai due estrusori sono incanalati nello spazio esistente tra le superfici cilindriche concentriche nella testa base per poi attraversare un anello caratterizzato da fori relativamente piccoli, i quali permettono di rendere il flusso omogeneo; questo sistema sostituisce il tradizionale sistema "spider" (a ragno) in cui la divisione grossolana del fuso in quattro rami determina delle caratteristiche meccaniche non uniformi sulla circonferenza del tubo; al contrario, l'anello forato divide il fuso in tanti microflussi che presentano "storie" meccaniche e termiche simili, riducendo anche le perdite di carico. Le due figure sottostanti mettono a confronto il sistema "spider" con l'anello forato implementato nella testa della linea tre.



**Figura 3.4.2 g: Sistema ad anello forato**

Dopo essere stato diviso in microflussi, i due strati tubolari

concentrici subiscono una diminuzione del diametro nell'iniettore, a seconda del tipo di prodotto finale; l'iniettore provvede anche alla regolazione dello spessore dei due strati, agendo su delle viti esterne che fanno variare il gioco esistente tra le superfici concentriche con cui polimero è a contatto.

L'uscita dei due fusi avviene tramite degli orifizi circolari (vedi Figura 3.4.2 i); per impedire che i due tubi aderiscano alle superficie non riscaldata dell'elemento di raccordo tra l'iniettore e il mandrino, esistono due anelli d'aria compressa che, sollevando gli strati, ne impediscono l'accumulo e permettono lo scorrere dei materiali fino al mandrino, su cui i due flussi aderiscono.



**Figura 3.4.2 h: Sistema "spider"**

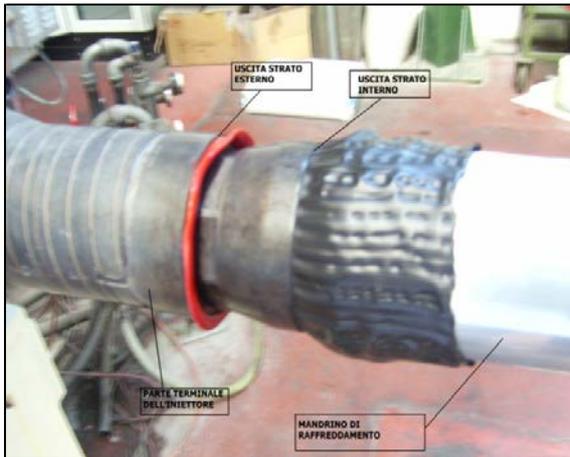


Figura 3.4.2 i: Uscita flussi dagli orifizi circolari

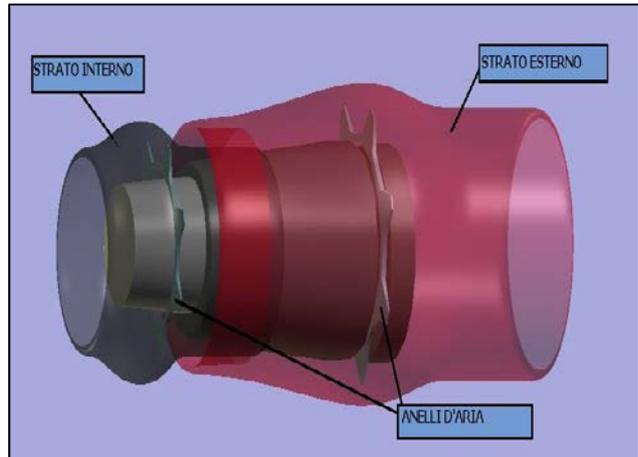


Figura 3.4.2 l: Anelli d'aria compressa

Dopo aver descritto il passaggio del materiale e le caratteristiche delle tre zone costituenti l'unità di estrusione, è necessario analizzare i sistemi di controllo e gli impianti ausiliari che consentono alla macchina di espletare al meglio le proprie potenzialità.

Per quanto riguarda i sistemi di rilevazione e controllo, due dei parametri di processo da gestire sono la temperatura e la pressione del fuso; pertanto, la macchina è dotata di un sistema di alimentazione delle fasce riscaldanti che permette di raggiungere il profilo di temperatura ottimale, necessario alla lavorazione della materia prima mentre l'eventuale l'azione di raffreddamento delle zone dei cilindri di estrusione viene attuata da soffianti.

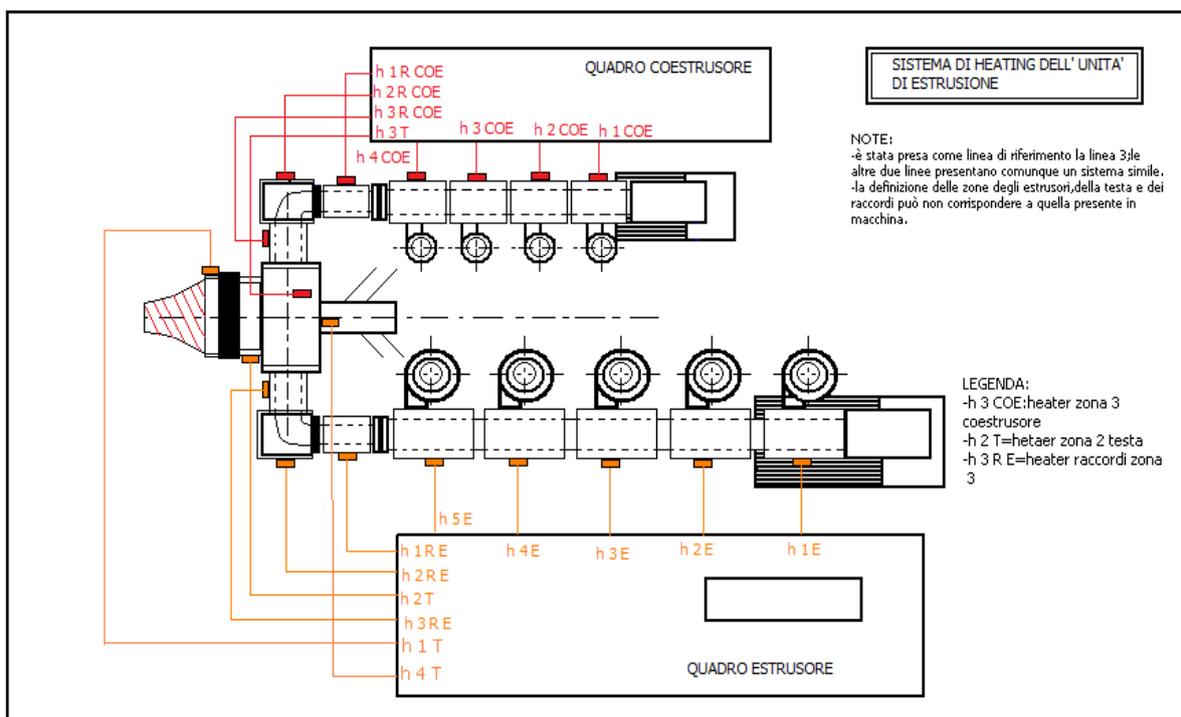


Figura 3.4.2 m : Schema impianto di alimentazione delle fasce riscaldanti

Tuttavia, per agire sulla temperatura tramite il sistema appena descritto, occorre avere un impianto, rappresentato in Figura 3.4.2 n, che consenta di rilevarne il valore nei vari punti della macchina: esso è costituito da termocoppie collegate tramite fili al PLC di controllo.

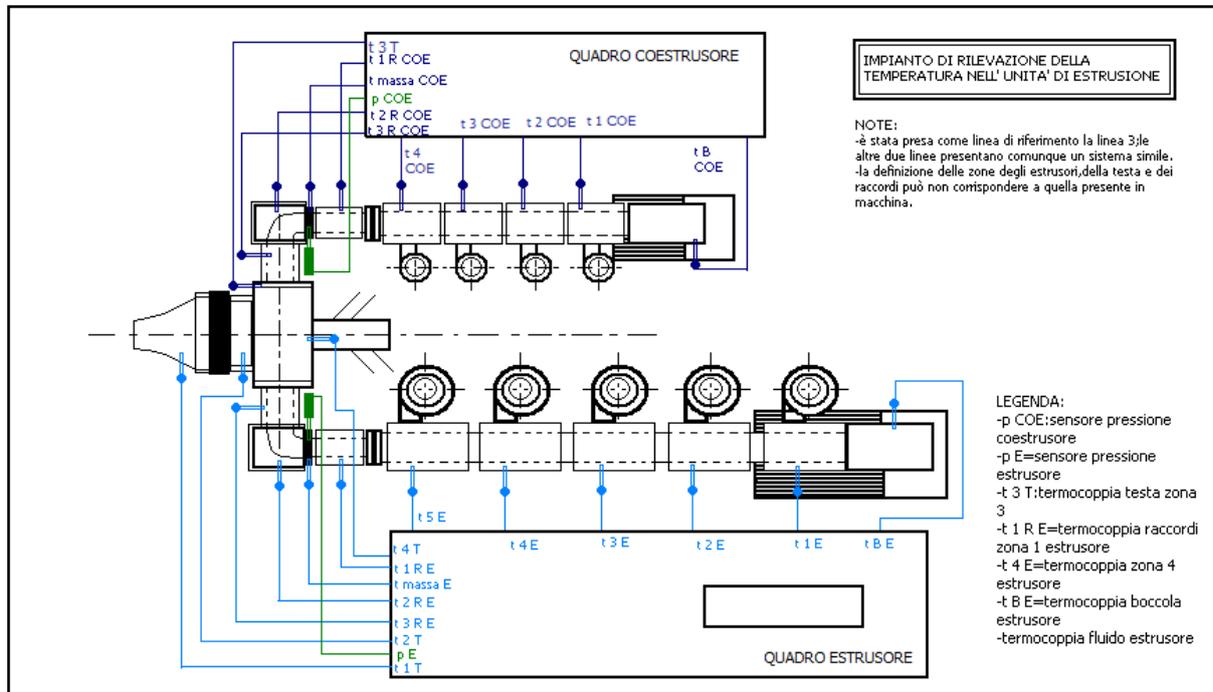


Figura 3.4.2 n: Sistema di rilevazione temperatura e pressione di massa

Altro parametro importante da rilevare è la pressione di massa: essa è registrata tramite un sensore posto alla fine degli estrusori di ogni unità e risulta particolarmente importante sia per ragioni di processo che per ragioni di sicurezza.

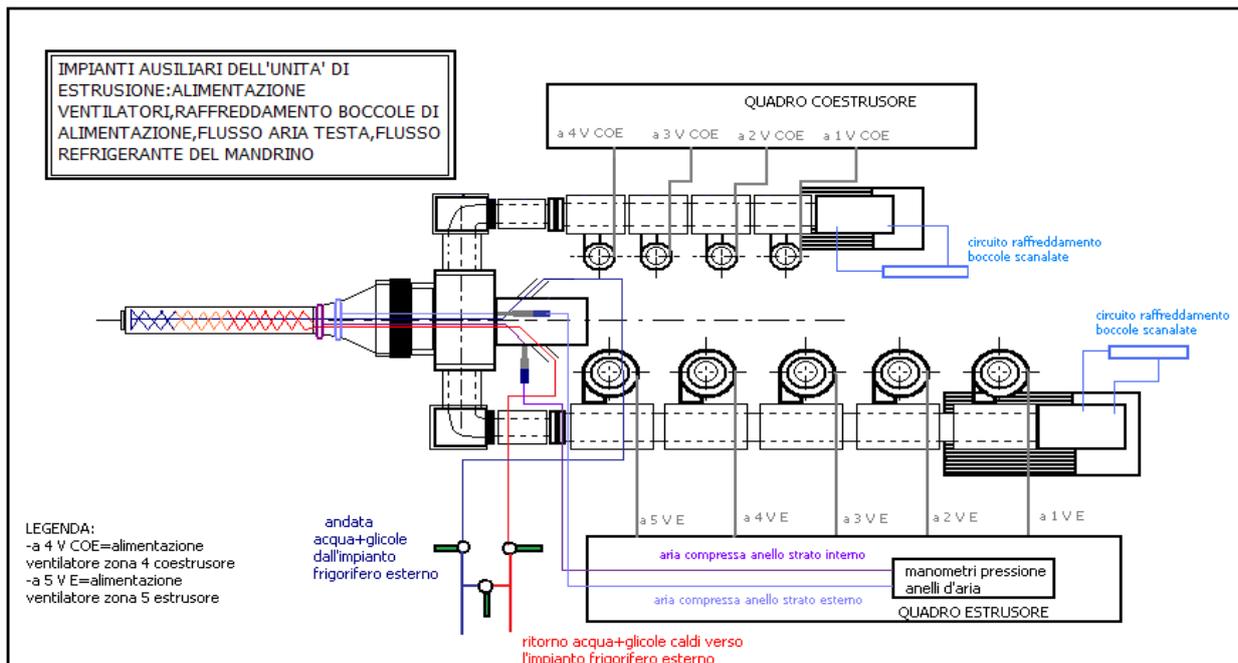


Figura 3.4.2 o: Impianti ausiliari dell'unità di estrusione

Inoltre, per il corretto comportamento in esercizio dell'unità di estrusione, sono necessari dei sistemi ausiliari che interagiscono con gli estrusori, permettendo un'efficace lavorazione del polimero. I principali sistemi secondari presenti sono:

**-il sistema di raffreddamento del mandrino:** il mandrino è raffreddato a 4°C tramite la circolazione di un liquido refrigerante costituito da acqua e glicole che all'andata percorre un canale interno al mandrino stesso, mentre al ritorno percorre una doppia spirale che permette al fluido di asportare il calore dei due strati del tubo. Il flusso di refrigerante è regolato tramite delle manopole a lato della testa, permettendo la regolazione del calore asportato e, se sono chiuse, lo smontaggio dell'iniettore e del mandrino in fase di attrezzaggio. La presenza del refrigerante all'interno della testa permette inoltre il passaggio del filo in polipropilene utilizzato come sonda tiracavo che altrimenti si fonderebbe al contatto con le alte temperature della filiera.

**-il sistema di circolazione dell'aria compressa:** come si è già visto, per facilitare il flusso e l'adesione al mandrino dei due strati di materiale, si utilizzano due anelli d'aria compressa; essa è alimentata tramite delle tubazioni provenienti dal quadro di comando e passa attraverso la testa grazie a dei condotti interni. Ovviamente, secondo il diametro del prodotto, la pressione dell'aria compressa può essere regolata e in generale tende ad aumentare linearmente con il diametro del tubo.

**-i sistemi di raffreddamento delle boccole:** la boccola di alimentazione è la parte iniziale del cilindro e comunica direttamente con le tramogge; essa è raffreddata tramite un semplice sistema ad acqua per mantenere la temperatura circa a 40-50°C; infatti, tanto più la temperatura della boccola è bassa, tanto più aumenta la capacità di carico delle materie prime provenienti dal sistema di alimentazione.

Gli input provenienti dai sistemi di rilevazione sono gestiti dal **PLC (Programmable Logic Controller)** e, tramite software di interfaccia con l'operatore, si procede alla regolazione dei parametri agendo sui sistemi di alimentazione.

Com'è indicato nella Figura 3.4.2 p, il *display* di interfaccia presenta l'elenco dei parametri dell'estrusore e del coestrusore, indicandone per ognuno il valore impostato dall'operatore e il valore rilevato dai sistemi di rilevazione. Un *display* simile riguarda il profilo delle temperature nelle zone del cilindro e della testa, considerate anch'esse come coppia di valore impostato e valore reale; le temperature di processo sono fisse e si stabiliscono ad un valore di 210-220 °C.

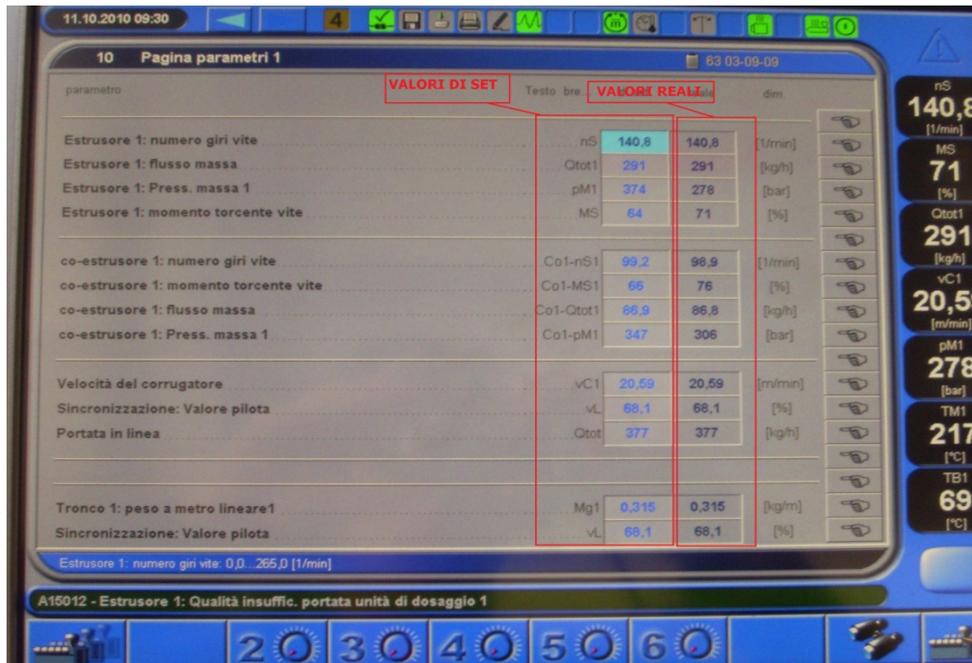


Figura 3.4.2 p: Videata parametri unità di estrusione.

Dopo aver analizzato la struttura meccanica che permette l'estrusione, è opportuno affrontare ora il processo produttivo dal punto di vista del materiale, concentrando l'analisi sui fenomeni che avvengono all'interno del cilindro.

Il processo di estrusione si articola essenzialmente in tre fasi, che influenzano anche la conformazione della vite:

### 1) ZONA DI TRASPORTO DEL SOLIDO O "FEEDING ZONE"

### 2) ZONA DI PLASTIFICAZIONE O "PLASTICATION ZONE"

### 3) ZONA DI TRASPORTO DEL FUSO O "METERING ZONE"

1) Nella prima fase, il materiale proveniente dalle tramogge viene trasportato e subisce un primo riscaldamento sia grazie alle fasce riscaldanti sia grazie all'attrito con la vite ed il cilindro. Il principio di funzionamento su cui si basa il trasporto dei granuli di materiale è

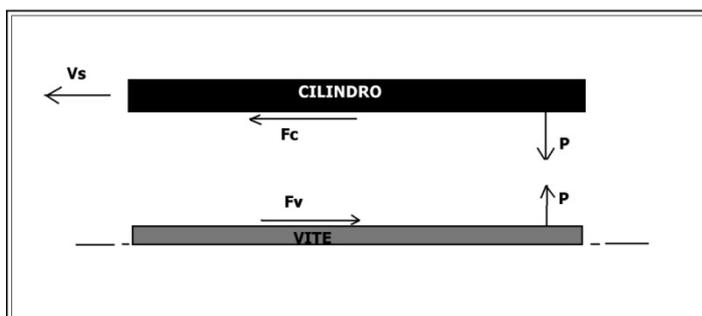


Figura 3.4.2 q: Modello zona di trasporto del solido

l'equilibrio delle forze di attrito materiale-vite e materiale-cilindro: il sistema cilindro-vite si può modellare attraverso due piatti paralleli, in cui il cilindro si muove rispetto alla vite ferma con velocità  $V_s$ . Le due forze d'attrito generate

dal movimento del cilindro sono proporzionali ai rispettivi coefficienti d'attrito per cui se  $\mu_v > \mu_c$  il materiale aderisce alla vite e la capacità di trasporto è compromessa perché il polimero gira con la vite; invece, se  $\mu_v < \mu_c$ , la materia prima aderisce alle pareti del cilindro ed è spinta in avanti dalle creste dei filetti, determinando la portata di massa. Per accentuare il coefficiente d'attrito, nella tecnica si è soliti praticare delle scanalature sulla superficie interna del cilindro, in modo tale da poter massimizzare l'azione di trasporto.

2) La seconda fase si svolge nella zona centrale del cilindro, in cui il polimero progressivamente plastifica. Il meccanismo di fusione avviene prima nelle zone di contatto con il cilindro riscaldato, poi prosegue verso l'interno attraverso il meccanismo definito "**Back flight plastication**" o plastificazione sul retro-filetto, descritto in Figura 3.4.2 r.

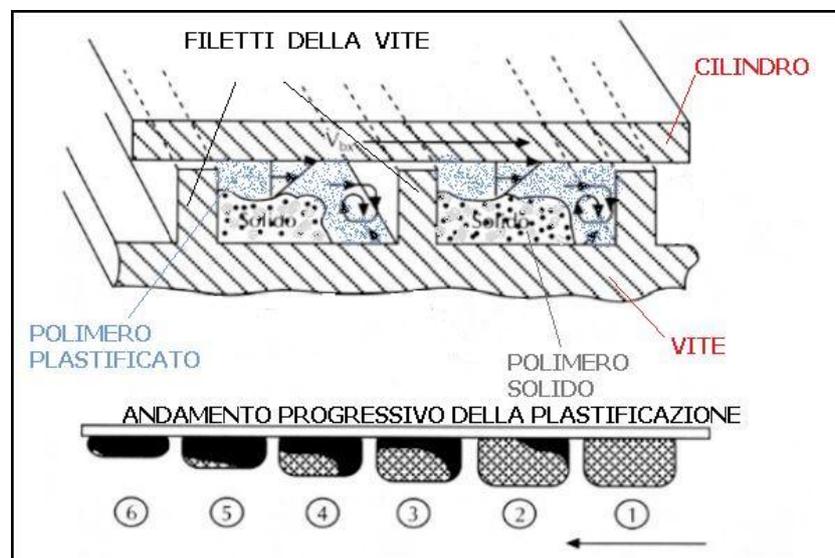


Figura 3.4.2 r: Plastificazione sul retro-filetto

Secondo questo processo, il film liquido che si crea all'interfaccia con il cilindro non sposta il suo fronte in modo parallelo verso la vite, bensì tende ad accumularsi dietro al filetto posteriore generando una sacca che si assottiglia verso il filetto anteriore. Quando lo spessore del film liquido supera il gioco presente tra le creste della vite e il cilindro, si genera una pressione che, aumentando progressivamente, permetterà al fuso di passare attraverso la filiera; per aumentare la velocità di plastificazione si può aumentare la temperatura del cilindro o aumentare il numero di giri della vite, favorendo un ulteriore sviluppo di calore per attrito viscoso.

3) La terza fase è quella in cui si determina la portata finale dell'estrusore; la vite ha la funzione di innalzare la pressione del fluido in modo tale che essa sia molto superiore rispetto a quella atmosferica e quindi, avvertendo il delta di pressione esistente tra la fine del cilindro e gli orifici circolari della filiera, il fuso tende a colmare il gradiente di pressione uscendo dalla matrice.

La portata di massa di materiale che esce attraverso la matrice è la somma di due portate opposte: da un lato, si ha la portata di trascinamento dovuta alla rotazione della vite che tende a spostare verso l'uscita il fuso, dall'altra la filiera, essendo una strozzatura, genera una portata di retro flusso proporzionale al delta di pressione creato dall'estrusore. Sommando algebricamente i due contributi opposti si ha la portata netta dell'estrusore, secondo l'equazione:

$$Q = (A \cdot N) - (B/\eta) \cdot \Delta P \quad (3.4.2)$$

dove:

$Q$  = portata di massa dell'estrusore (kg/h)

$A$  = fattore geometrico definito come  $(w \cdot h)/2$ , dove  $w$  rappresenta la larghezza del canale tra i filetti della vite e  $h$  indica l'altezza del filetto rispetto al nocciolo della vite

$N$  = numero di giri vite (1/min)

$B$  = fattore geometrico definito come  $(w \cdot h^3)/12$

$\eta$  = viscosità del materiale

$\Delta P$  = differenza di pressione tra fine e l' inizio del cilindro

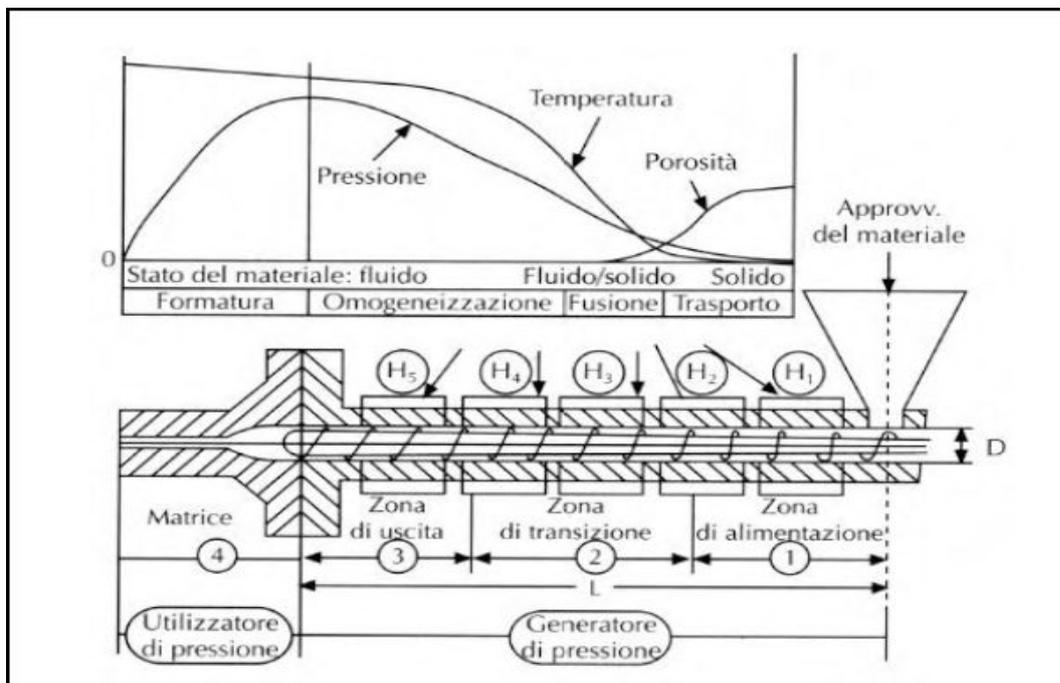


Figura 3.4.2 s: Andamento della temperatura e della pressione del fuso nell'estrusore

### 3.4.3 Il corrugatore

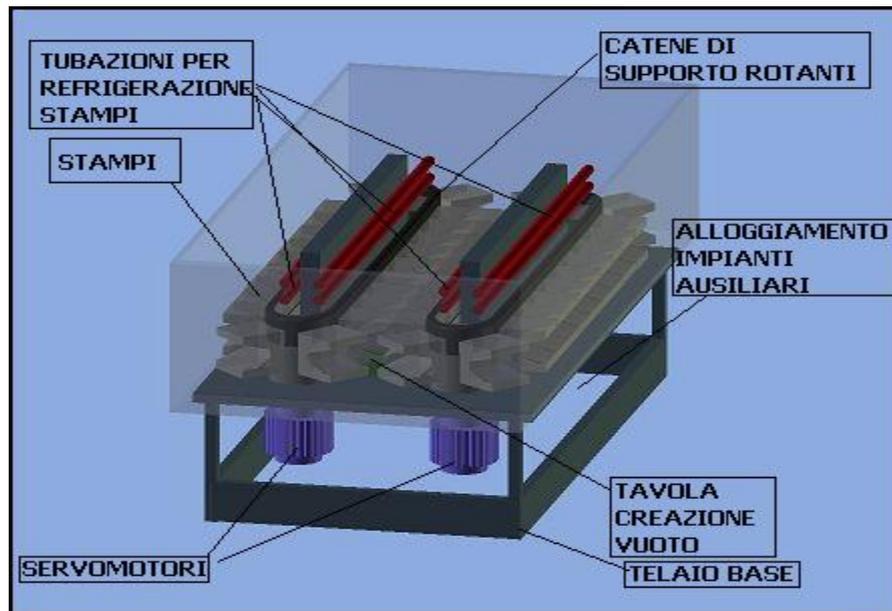


Figura 3.4.3 a: Struttura generale corrugatore

Il corrugatore è la stazione di lavorazione successiva all'unità di estrusione ed è la responsabile del corrugamento dello strato esterno. La macchina è costituita da un telaio di base su cui è montato un sistema di catene, rotanti grazie a dei servomotori installati sotto il pianale di appoggio. Gli stampi metallici sono collegati alle catene tramite dei supporti, consentendone la movimentazione. I sistemi ausiliari per il funzionamento del corrugatore sono alloggiati nella parte inferiore della macchina e sono costituiti dal sistema di creazione del vuoto, dall'apparato di lubrificazione degli stampi e dall'impianto di circolazione dell'acqua refrigerante.

Il corrugamento del tubo avviene grazie alla pressione negativa creata nel momento in cui gli stampi si chiudono sui due strati tubolari concentrici adagiati sul mandrino e provenienti dalla filiera di estrusione. Come si vede in figura 3.4.3 b-c, lo stampo presenta delle scanalature



Figura 3.4.3 b: Superficie interna stampo

sulla superficie interna tali da dare la caratteristica forma al prodotto; ciò è consentito dalle **micro fessure** presenti sulla base della cresta, attraverso cui si crea il vuoto all'interno della camera stagna ottenuta con lo stampo complementare.



Figura 3.4.3 c: Fessure creazione del vuoto

Come già si è spiegato, i due strati facenti parte il tubo scorrono sul mandrino ed entrano nel corrugatore; la chiusura ermetica e sincrona degli stampi permette di creare una camera isolata in cui viene generata una depressione. L'asportazione dell'aria contenuta tra lo strato esterno e la superficie interna dello stampo è effettuata da una **pompa a vuoto** situata sotto il pianale

principale; il flusso d'aria passa attraverso dei canali sulla parte inferiore dello stampo per poi

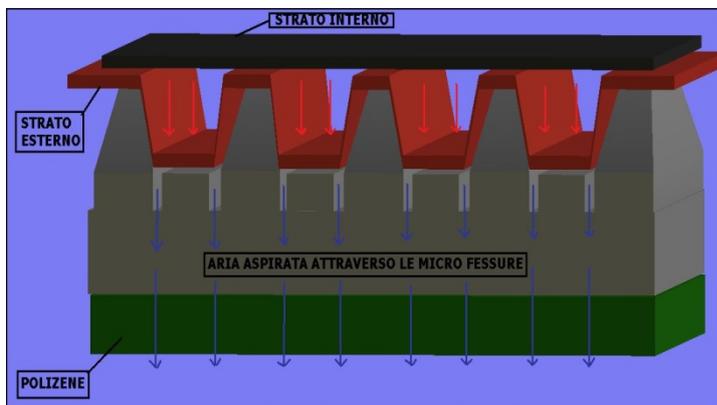


Figura 3.4.3 d : Fase di corrugamento del tubo

attraversare lo strato di **polizene**, un elemento che consente il flusso dell'aria alla pompa anche se lo stampo è in movimento. La pressione negativa agente sullo strato esterno causa la sua adesione alle pareti della forma, determinando la caratteristica

conformazione superficiale del

prodotto. Tuttavia, lo stampo deve

compiere un primo raffreddamento dello strato esterno dopo la formatura, in modo tale da consolidare la struttura ottenuta; ciò è reso possibile grazie all'**impianto di raffreddamento degli stampi**.



Figura 3.4.3 e : Tubazioni di raffreddamento stampi

L'acqua proveniente dal circuito frigorifero esterno arriva dalla tubazione di entrata principale e percorre serie di quattro stampi attraverso dei canali interni agli stampi stessi; una volta asportato il flussi di calore, l'acqua calda esce e viene

convogliata all'esterno grazie ad una tubazione principale parallela a

quella di entrata. Come si vede in figura a fianco, il sistema permette la continua asportazione del calore ceduto allo stampo, assicurando un primo consolidamento delle coste ottenute. Inoltre, essendo

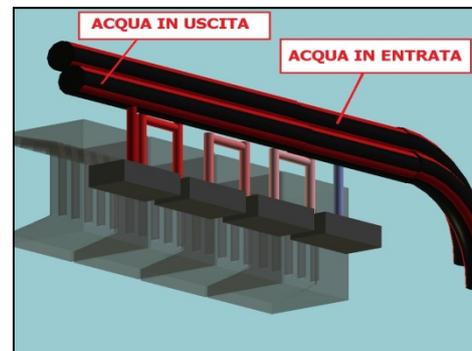


Figura 3.4.3 f: Passaggio acqua di raffreddamento

le tubazioni soggette a elevati sforzi meccanici e alla pressione interna dell'acqua, è opportuno monitorarne costantemente lo stato e sostituire gli elementi che sono difettosi. Lo scoppio della tubazione di gomma è, infatti, molto dannoso alla macchina, in quanto l'elevata pressione dell'acqua provocherebbe la fuoriuscita anche dell'olio lubrificante per lo scorrimento degli stampi.

In precedenza, si è accennato all'importanza della pompa a vuoto per la formatura dello strato esterno: essa permette, inoltre, di asportare anche una parte dell'umidità acquisita dagli strati al contatto con l'aria atmosferica; per far ciò, la pompa a vuoto è munita di un camino per l'espulsione dell'umidità, rappresentato in Figura 3.4.3 h.



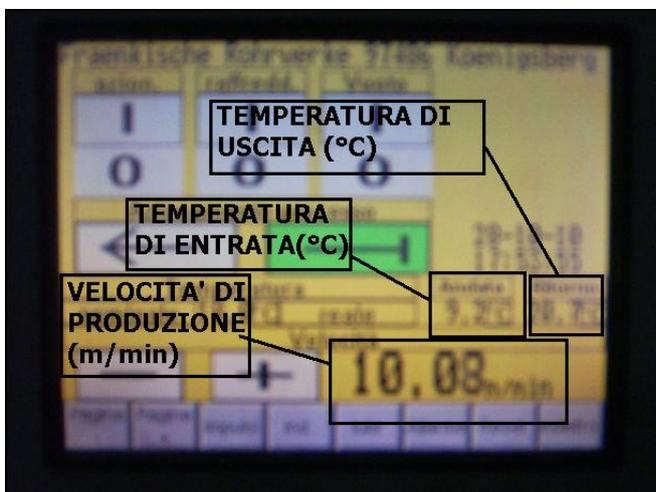
Figura 3.4.3 g: Pompa a vuoto

Figura 3.4.3 h: Camino espulsione umidità

L'interfaccia di controllo e monitoraggio della macchina è situata sul vetro protettivo e permette di visualizzare i principali parametri di esercizio ossia la **velocità di corrugamento** del tubo in metri al minuto e le **temperature di entrata ed uscita** del circuito di raffreddamento degli stampi; altri azionamenti presenti sul display consentono l'aumento o la diminuzione della velocità di produzione e permettono le movimentazioni della macchina.

Tuttavia, le procedure di centraggio del corrugatore rispetto alla testa di estrusione vengono

fatte manualmente, agendo su delle viti di regolazione poste sul telaio.



La figura a fianco mostra i tre parametri principali della macchina, tra cui la velocità di produzione che compare anche nel display del software gestionale dell'unità di estrusione.

Figura 3.4.3 i: Display controllo corrugatore

### 3.4.4 La vasca di raffreddamento

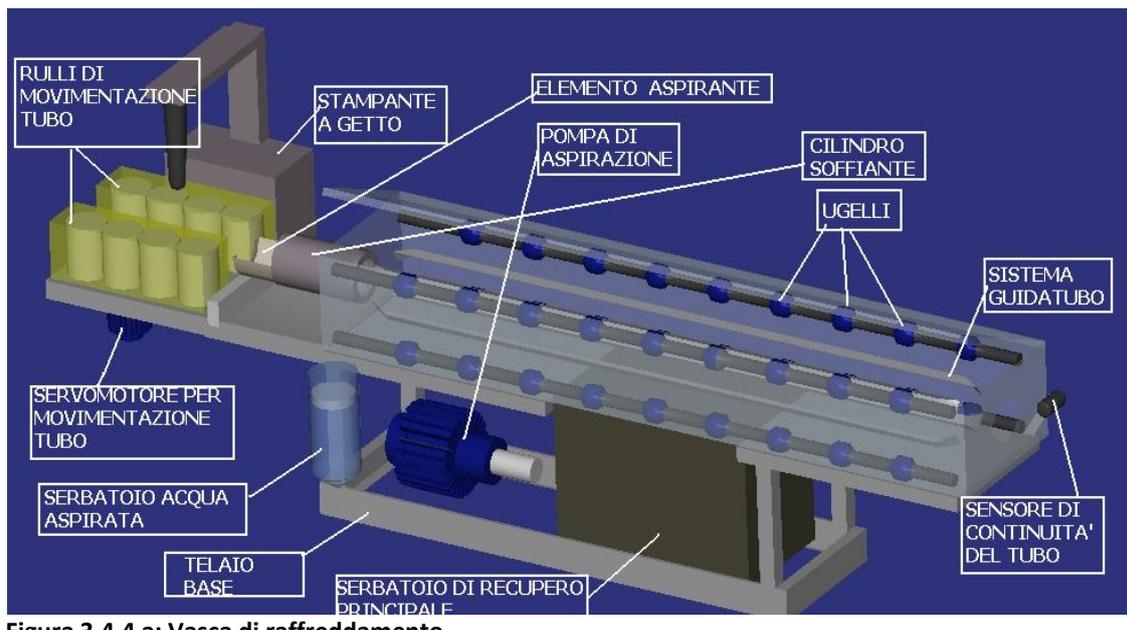


Figura 3.4.4 a: Vasca di raffreddamento

Come già detto in precedenza, un primo raffreddamento del prodotto avviene nella fase del corrugamento; tuttavia, all'uscita del corrugatore il prodotto non è completamente raffreddato e questo può causare un peggioramento delle caratteristiche meccaniche del tubo. Infatti, dopo l'estrusione e il corrugamento, le catene polimeriche sono orientate secondo la direzione di lavorazione e la residua agitazione molecolare dovuta alla temperatura non a livello ambiente potrebbe alterare l'orientazione delle catene polimeriche, modificandone la disposizione spaziale. Tutto ciò è ancora più verificabile perché il tubo è sottoposto a trazione dagli organi di linea, quindi occorre portare la temperatura del tubo al valore ambiente per "congelare" la struttura molecolare raggiunta.

Per questi motivi, il prodotto all'uscita dal corrugatore viene fatto passare attraverso la vasca di raffreddamento; essa consente il passaggio del tubo corrugato attraverso una guida metallica e permette il raffreddamento tramite dei getti d'acqua uscenti da ugelli. L'acqua subisce un riscaldamento ed è raccolta nel serbatoio di recupero principale.



Le rimanenti gocce d'acqua presenti sono asportate prima tramite un cilindro soffiante che asporta l'umidità sulla superficie superiore, poi grazie a un elemento aspirante semi-cilindrico che elimina le gocce sulla superficie inferiore del tubo, inviando l'acqua asportata ad un serbatoio cilindro secondario (vedi Figura 3.4.4 a).

Figura 3.4.4 b : Vasca di raffreddamento

Nella parte terminale della vasca di raffreddamento è posta una stampante a getto, che imprime la stringa di rintracciabilità del prodotto; considerando il tubo Roll Cable, la scritta è la seguente:

**ROLL CABLE FARAPLAN CE EN 500 86-2-4-A/1 D.90 N450 IEMMEQU CE L.1 TTT/AA**

CODICE	DESCRIZIONE
<b>ROLL CABLE</b>	nome prodotto
<b>FARAPLAN</b>	azienda produttrice
<b>CE EN 500 86-2-4-A/1</b>	norma europea che certifica la proprietà meccaniche
<b>D.90</b>	diametro nominale del tubo
<b>N450</b>	resistenza meccanica a compressione
<b>IEMME QU CE</b>	ente europeo di certificazione
<b>L.1</b>	linea di produzione
<b>TTT/AA</b>	data di produzione, espressa come giorno produttivo progressivo in un determinato anno

Tabella 3.4.4: Codici componenti la scritta di rintracciabilità

Tutte queste informazioni sono fondamentali per la rintracciabilità del prodotto in situazioni di reclami per scarse prestazioni in esercizio; inoltre, la presenza e la coerenza di tale marcatura rappresenta una nota di merito per la certificazione ISO 9001 che assicura la qualità del sistema produttivo.

### 3.4.5 La Perforatrice

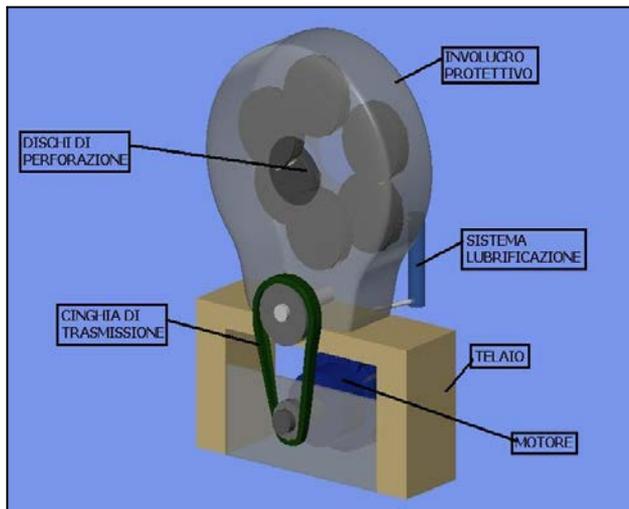


Figura 3.4.5 a : Schema di perforatrice

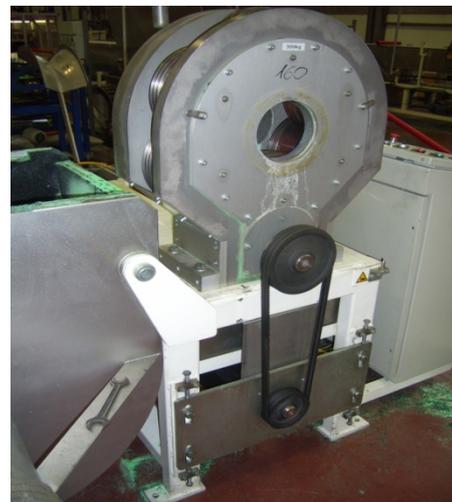


Figura 3.4.5 b :Perforatrice in fase di manutenzione

Il tubo Roll Drain, analizzato in precedenza, prevede la perforazione della superficie corrugata per facilitare il drenaggio dei liquidi stagnati nel terreno. Tale caratteristica è garantita dalla perforatrice: essa è una macchina con motore e quadro di controllo indipendenti dal PLC dell'unità di estrusione e prevede la perforazione del tubo grazie ad

una schiera circolare di elementi rotanti su cui sono presenti dei taglienti sporgenti che praticano l'incisione superficiale del tubo (vedi Figura 3.4.5 c). La macchina presenta un sistema di lubrificazione oleodinamico per minimizzare le dissipazioni per attrito tra gli elementi rotanti.

Pur essendo la perforazione una fase relativamente semplice, essa necessita di una condizione fondamentale, ossia l'ottimale asciugatura del tubo dopo il raffreddamento nella vasca.; infatti, se è presente umidità residua tra le coste, la superficie metallica dei taglienti si ossida, rendendo imprecisa la fessurazione del prodotto.

### 3.4.6 L'avvolgitore

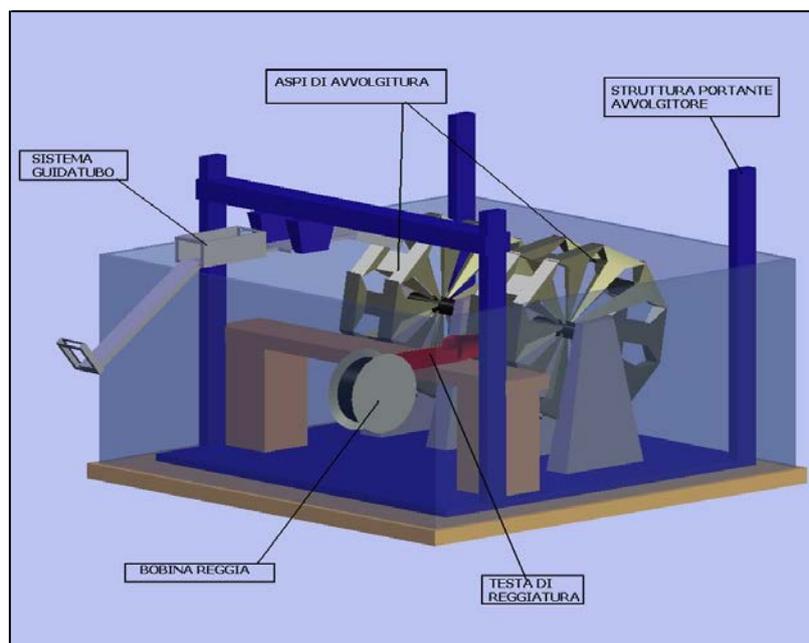


Figura 3.4.6 a: Schema generale dell'avvolgitore

L'ultima stazione della linea di estrusione è il gruppo di avvolgimento; esso è costituito essenzialmente da tre sottosistemi, raffigurati nell'immagine sopra, ossia:

#### **1) gli aspi**

#### **2) il sistema d'indirizzamento del tubo**

#### **3) il dispositivo di reggiatura**

1) Gli aspi di avvolgimento sono delle strutture metalliche a forma di ruota che servono alla creazione del rotolo di prodotto finito; essendo variabili i diametri producibili, l'aspo presenta dei sistemi che consentono la regolazione del diametro finale del rotolo. Inoltre, la struttura a ruota dell'aspo è formata da due semi unità che si aprono per consentire l'uscita del rotolo al termine dell'avvolgimento. La velocità di rotazione dell'aspo è variabile in funzione del

diametro istantaneo del rotolo ed è regolata grazie ad un sistema retroattivo nel dispositivo d'indirizzamento del tubo.

2) Il sistema d'indirizzamento del tubo consente di posizionare correttamente il prodotto nell'aspo, permettendo una regolare posizione del prodotto mano a mano che il rotolo si forma. Come accennato in precedenza, esso permette anche di regolare la velocità di rotazione dell'aspo: l'elemento basculante iniziale è dotato di un sensore che ne registra la posizione verticale. Quando il tubo non è in tiro, la **velocità di avvolgimento ( $V_a$ )** è minore della **velocità di produzione ( $V_p$ )**, il basculante tende ad abbassarsi e il sensore, rilevando tale spostamento, invia i dati al PLC dell'avvolgitore che, dopo aver elaborato il segnale,



Figura 3.4.6 b : Elemento basculante

fornisce degli impulsi ai servomotori dell'aspo per aumentare la velocità di rotazione. Così facendo, il tubo torna in tiro e la velocità di rotazione è sincrona con la velocità di uscita dalla vasca di raffreddamento. Se invece la velocità di avvolgimento è maggiore di quella produttiva, il basculante si sposta verso l'alto e, tramite un meccanismo inverso al precedente, la velocità di rotazione si abbassa.

Inoltre, la velocità di rotazione deve decrescere all'aumentare del diametro del rotolo per evitare sollecitazioni centrifughe troppo elevate che causerebbero un avvolgimento non compatto del prodotto. In particolare, all'inizio dell'avvolgimento l'aspo gira a velocità di rotazione massima per cui  $V_a > V_p$ ; grazie al basculante,  $V_a$  si assesta poi ad un valore di regime pari a quella di produzione. Quando il sistema è in prossimità della fine del rotolo, si ha che  $V_a < V_p$  e l'abbassamento del basculante determina la partenza del secondo aspo a velocità massima. In linea teorica, la variazione della velocità  $V_a$  ha l'obiettivo di mantenere lineare il tubo tra l'avvolgitore e la vasca di raffreddamento, impedendo lo strisciamento del prodotto sul pavimento e la formazione di anse sullo stesso.

3) Il dispositivo di reggiatura consente l'integrità e il mantenimento della forma del rotolo dopo

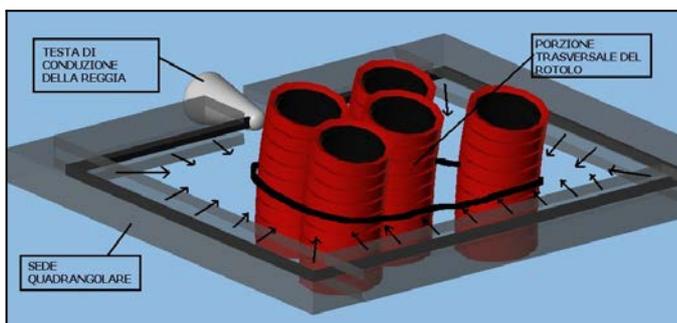


Figura 3.4.6 c : Avvolgimento regge

l'avvolgimento; ciò è garantito da strisce rettangolari in materiale plastico chiamate **regge** che avvolgono il rotolo in senso trasversale. Il processo di reggiatura è dimostrato in Figura 3.4.6 c: la testa fa passare la reggia attorno al rotolo e

successivamente viene tirata causandone la fuoriuscita dalla sede quadrangolare e l'adesione ai tubi; infine, la testa salda le due estremità, garantendo quindi l'integrità del rotolo nelle fasi di stoccaggio e trasporto.



Figura 3.4.6 d: Avvolgitore

Le operazioni di avvolgimento interessano tutte e tre le componenti della stazione: il tubo viene indirizzato tramite il dispositivo apposito all'aspo vuoto ed inizia l'avvolgimento con la velocità descritta precedentemente. Una volta raggiunti i metri settati, una cesoia taglia il prodotto e il dispositivo d'indirizzamento si sposta nell'altro aspo, per iniziare nuovamente l'avvolgimento. Nel frattempo, avviene la reggiatura in diversi punti del rotolo completato per poi espellere lo stesso attraverso l'appoggio su un piano inclinato, situato sul fondo della struttura.

Il software gestionale raffigurato a lato permette di monitorare lo stato di avanzamento del processo, mostrando i metri istantanei di tubo su ciascun aspo rispetto al *target* finale; un'altra funzionalità dell'avvolgitore è il prelevamento automatico di un campione di prodotto per il controllo qualità.

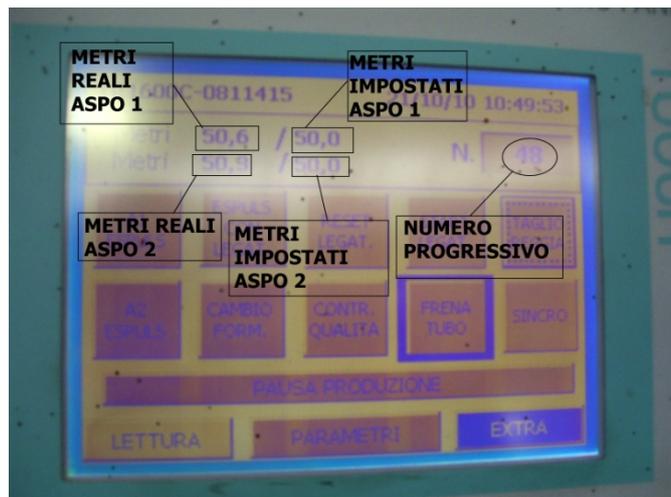


Figura 3.4.6 e: Display di gestione dell'avvolgitore



Figura 3.4.6 f: Attuatore per movimentazione

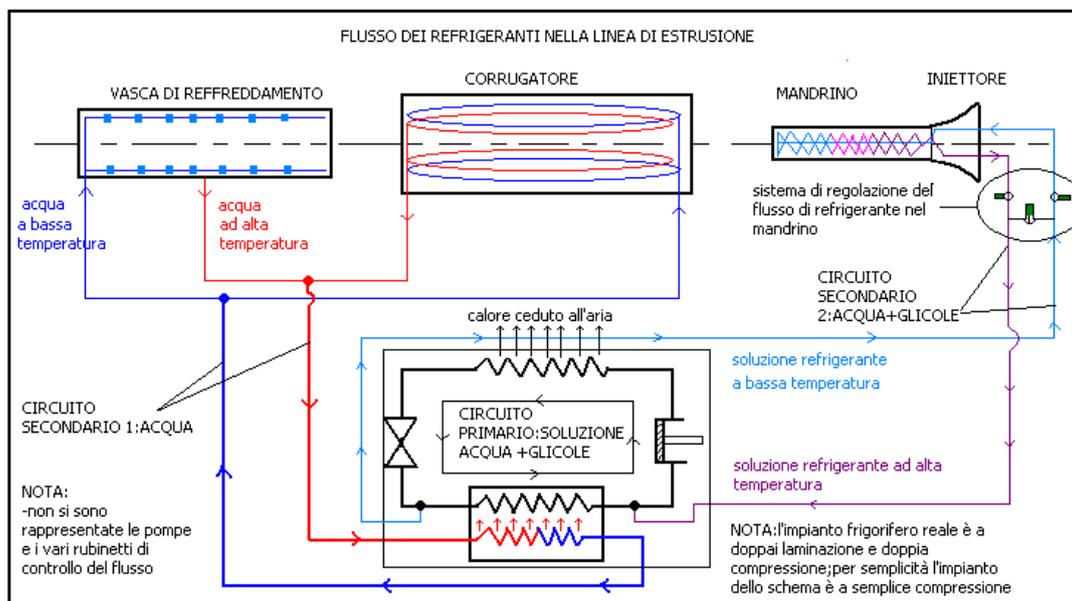
Le tipologie di movimentazioni degli elementi descritti finora possono essere di due tipi:

- movimenti rettilinei o angolari totali e standard;
- movimenti in cui è necessario tener traccia della posizione spaziale istantanea dell'elemento;

Nell'avvolgitore, la prima tipologia di movimenti è realizzata tramite un **sistema di attuatori pneumatici** a semplice o doppio effetto, comandati da elettrovalvole. Gli attuatori permettono ad esempio l'apertura delle paratie di indirizzamento del rotolo come si vede in Figura 3.4.6 f.

D'altra parte, i movimenti che riguardano per esempio il sistema guida tubi richiedono la lettura degli spostamenti dell'elemento; il sincronismo che caratterizza questo tipo di elementi, è determinato da una sequenza di posizioni spaziali raggiunte dai membri coinvolti nel movimento. L'elemento x, nello specifico, si muoverà quando l'elemento x-1 avrà raggiunto una precisa posizione spaziale, settata in fase di programmazione del sistema elettromeccanico della macchina. Il dispositivo che permette il movimento e la lettura della posizione spaziale è il **servomotore**, caratterizzato da un motore elettrico accoppiato con un *encoder*: esso effettua la rilevazione e la trasmissione al PLC delle posizioni spaziali dell'elemento controllato.

### 3.5 L'impianto di circolazione dei liquidi refrigeranti



**Figura 3.5 a: Circolazione liquidi refrigeranti di linea**

Come si è visto, la fase di estrusione richiede temperature di processo elevate che da un lato sono necessarie per una lavorazione ottimale, dall'altro determinano una situazione molecolare instabile, una volta effettuato il corrugamento dello strato esterno. Perciò, nei paragrafi precedenti si sono viste le modalità con cui le stazioni di linea riescono ad asportare il calore fornito al materiale dall'unità di estrusione. I fluidi di raffreddamento uscenti dalla linea devono scaricare il flusso di calore acquisito dal prodotto, in modo tale da assicurare nuovamente il delta termico che permette lo scambio di calore con il tubo.

A tale scopo, i fluidi interessati all'assorbimento di energia termica dal prodotto cedono il calore (inteso sempre come flusso, ossia una potenza termica) a un fluido frigorifero esterno, secondo lo schema generale di Figura 3.5.a.

I fluidi utilizzati per il raffreddamento sono di due tipi: una soluzione di acqua e glicole oppure acqua pura; nel primo caso, una frazione di portata del liquido frigorifero primario viene spillata e, percorrendo il circuito secondario due, raggiunge il mandrino e permette il raffreddamento dello strato interno subito dopo l'uscita dall'iniettore. Il glicole (formula bruta  $C_2H_6O_2$ ) è un efficace antigelo e porta il punto di congelamento della soluzione a  $-50^{\circ}C$ . Questa sostanza è utilizzata solo per il circuito secondario due perché il raffreddamento del mandrino deve essere sempre assicurato, in modo tale che lo strato interno scorra regolarmente e costituisca un appoggio solido su cui poi operare il sollevamento dello strato esterno tramite la pressione negativa. Nel secondo caso invece, i liquidi percorrono il circuito secondario uno che interessa gli stampi del corrugatore e la vasca: l'impiego di acqua pura risulta economicamente più conveniente, data la minore entità e priorità richiesta dal raffreddamento in queste stazioni di linea.



**Figura 3.5 b: Impianto frigorifero esterno**

L'acqua del circuito secondario uno, dopo aver assorbito il calore dagli stampi e dal tubo stesso, viene inviata allo scambiatore dell'impianto frigorifero esterno in cui essa cede il flusso di calore al fluido operativo per poi tornare alla linea a temperatura più bassa.

La soluzione del circuito secondario due, in uscita dal mandrino, viene reintrodotta nel ciclo primario ed è ricondotta al mandrino dopo la cessione del calore all'ambiente esterno.

### **3.6 L'impianto di adduzione della materia prima**

Nel paragrafo 3.4.1, si è descritto il sistema dosatore-tramoggia per l'adduzione della materia prima; tuttavia, a monte della linea, è presente un impianto molto complesso che permette l'arrivo del materiale nel dosatore, quando esso richiede il riempimento.

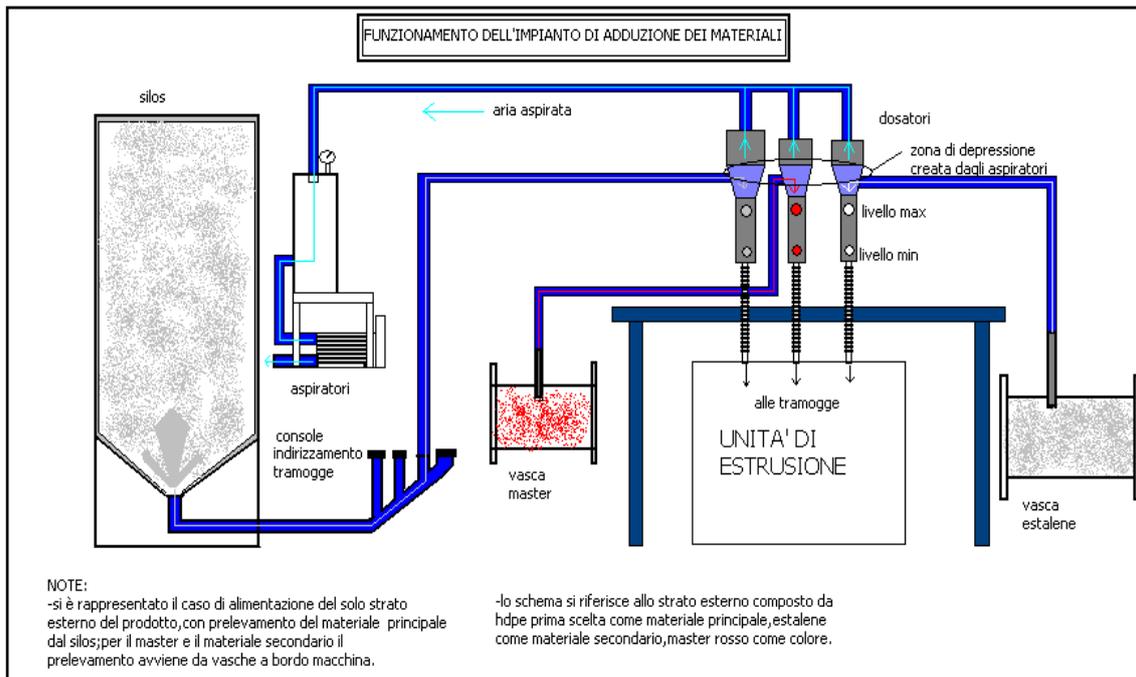
Gli elementi fondamentali che costituiscono l'impianto sono:

**-i silos esterni**

**-la console di indirizzamento alle tramogge**

**-gli aspiratori**

**-i dosatori**



**Figura 3.6.a :Impianto di adduzione materia prima del reparto**

Nella specifica analizzata in figura sopra, il polietilene arriva da quattro silos esterni dedicati allo stoccaggio del materiale principale; il materiale secondario, sia esso ustalene o rigenerato, arriva da vasche di accumulo a bordo macchina, vista la minore composizione in peso rispetto al polietilene. Il funzionamento dell'impianto si basa sulla creazione di una depressione alla testa del dosatore; infatti, il gruppo degli aspiratori, tramite delle ventole, aspira l'aria presente alla sommità del dosatore, determinando il risucchio del materiale o dai silos o dalle vasche a bordo macchina. Il collegamento delle linee ai silos è realizzato mediante una console, che permette la gestione manuale del polietilene in base alle specifiche di produzione.

Pur essendo gestito manualmente, l'impianto è dotato di un sistema di allarme visivo e acustico che fornisce informazioni sulle mancate cariche dei dosatori e su quali di essi è in corso l'arrivo del materiale.



**Figura 3.6 b: Silos**



**Figura 3.6 c : Console**



**Figura 3.6 d : Aspiratori**



**Figura 3.6 e: Dosatori**

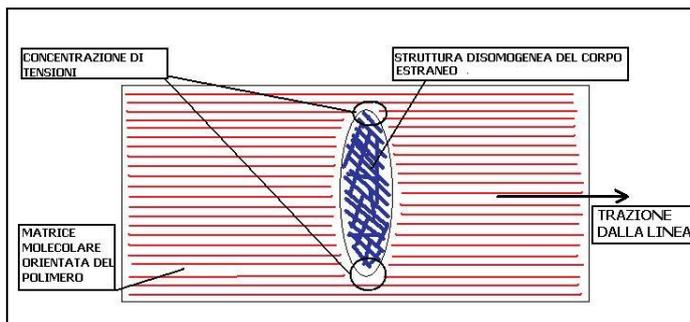
### 3.7 Problematiche di produzione del tubo

Dalla presentazione della linea produttiva effettuata ai paragrafi precedenti, si può capire che il processo di produzione del corrugato presenta molte variabili e, in generale, tutte le stazioni di processo influenzano direttamente la qualità del tubo.

La variabilità dei parametri di processo, delle condizioni del materiale e del funzionamento delle macchine determina la comparsa di alcuni problemi, classificabili nel modo seguente:

#### 1) Incrostazioni ed impurità

La presenza di corpi estranei in un materiale omogeneo è uno degli inconvenienti più frequenti nella produzione del tubo corrugato; infatti, i corpi estranei presentano una struttura molecolare differente rispetto alla matrice di materiale polimerico in cui si trovano e tale non omogeneità causa la concentrazione di tensioni nel momento in cui il tubo è soggetto a sforzi meccanici di trazione, come è specificato in Figura 3.7 a.

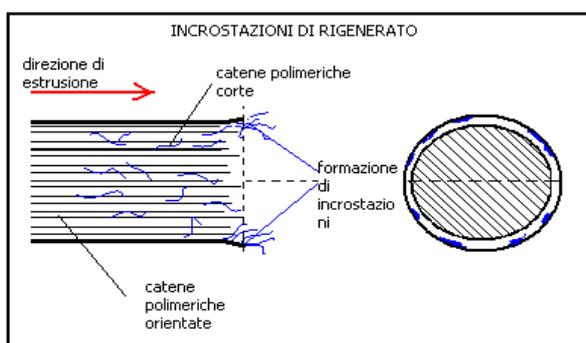


I corpi estranei possono essere impurità presenti tra i granuli della materia prima oppure possono essere incrostazioni dovute all'estalene o al materiale rigenerato.

Le incrostazioni si formano sulle pareti dell'iniettore in prossimità degli orifizi circolari dei due strati da cui esce il

**Figura 3.7 a: Effetto del corpo estraneo sulle tensioni strutturali del tubo**

materiale estruso. Esse non si staccano totalmente dalla parete ma gradualmente, rilasciando in modo continuo frammenti di materiale estraneo e determinando quindi la rottura del tubo spesso dopo il corrugatore, dove la trazione dei rulli della vasca di raffreddamento si somma a quella dell'avvolgitore di fine linea. In particolare, la formazione delle incrostazioni da rigenerato è dovuta alla natura stessa del materiale secondario:



**Figura 3.7 b: Formazione di incrostazioni da rigenerato**

il rigenerato è frutto della ri-estrusione degli scarti di lavorazione ed è formato da catene polimeriche generalmente corte. Il nuovo processo di estrusione effettuato nelle linee non riesce a omogeneizzare il materiale principale con il rigenerato, causando il "galleggiamento" delle catene polimeriche spezzate; esse, al contatto con

le pareti degli orifizi, si raffreddano ed aderiscono alle superfici metalliche, accrescendosi ed ostacolando l'uscita del materiale.

Per evitare tale accumulo, sono attuate una serie di brevi fermate di linea, in cui si procede alla pulizia delle labbra d'uscita dei due strati di materiale.



Figura 3.7 c: Rottura del tubo per incrostazione

## 2) Monitoraggio della pressione in testa

La pressione alla fine dell'estrusore è un parametro di macchina molto importante per le

caratteristiche finali del fuso e, come accennato al paragrafo 3.4.2, per ragioni di sicurezza. Infatti, un'eccessiva pressione all'entrata della filiera potrebbe determinare la caduta e il danneggiamento della testa stessa; per evitare tale inconveniente, è presente un sensore a spada che segnala il valore della pressione del materiale ed, in caso esso raggiunga i 400 bar, il sistema di controllo emette un allarme acustico, per poi spegnere la macchina se la pressione raggiunge o supera i 440 bar.

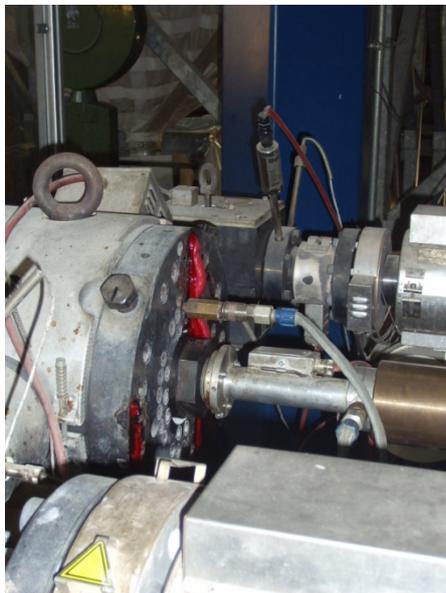


Figura 3.7 d: Fuoriuscita del materiale dalla filiera

normali il flusso del materiale alla filiera potrebbe essere alterato.

Inoltre, la pressione del fuso tende ad aumentare se nei canali interni alla testa si sono accumulate impurità: pertanto, è necessario in questi casi procedere alla pulizia interna della filiera, in modo tale da evitare la fuoriuscita anomala del materiale all'esterno, come raffigurato nell'illustrazione soprastante. Per questo, è fondamentale monitorare questo parametro in modo da impedire l'anomala uscita di materiale o, nella peggiore delle ipotesi, il danneggiamento della filiera,

### 3)Regolazione degli spessori

Gli spessori dei due strati di materiale sono un parametro dimensionale critico, soprattutto all'avviamento; infatti, in fase di cambio produzione, gli spessori devono essere regolati in modo tale che risultino omogenei lungo tutta la sezione trasversale del tubo. Per far ciò, gli operatori intervengono sulle viti di regolazione dei due strati, secondo lo schema in Figura 3.7 e: le viti agiscono sugli elementi interni dell'iniettore, determinando l'aumento o la diminuzione dell'area di passaggio del fuso.

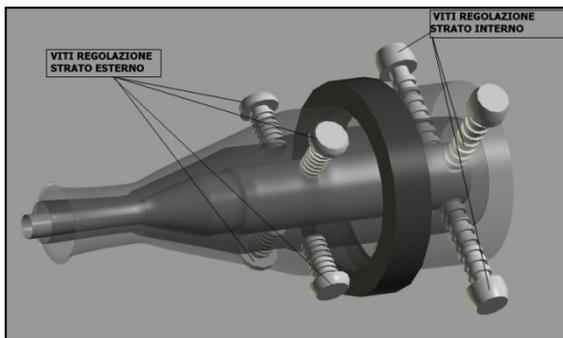


Figura 3.7 e: Sistema di regolazione degli spessori

Se lo spessore non rimane costante e subisce delle alterazioni durante il processo, si possono verificare delle problematiche sul tubo: in particolare, se lo spessore non è costante il prodotto tende ad incurvarsi all'uscita del corrugatore. Questo perché a parità di coefficiente di dilatazione termica, un lato del prodotto tende a dilatarsi di più, vista la massa di materiale maggiore. Se, tramite il

controllo visivo degli spessori, si rileva tale problema occorre regolare lo spessore grazie al sistema prima accennato.

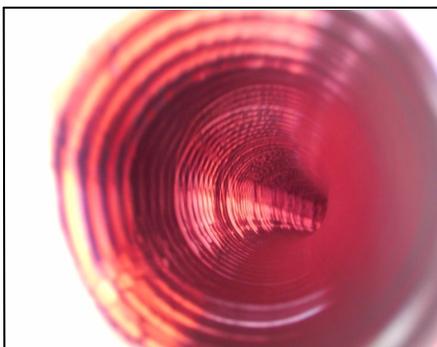


Figura 3.7 f: Interno del tubo con spessori non uniformi



Figura 3.7 g: Sezionamento tubo per controllo spessori

#### **4)Qualità del materiale**

Altro aspetto che può creare problemi alla produzione è la presenza di umidità nel materiale, dovuta a infiltrazioni d'acqua nei silos di stoccaggio o nell'impianto di alimentazione di linea. Se il materiale è umido, le particelle d'acqua presenti sulla superficie dei granuli progressivamente evaporano, lasciando delle cavità molto piccole che determinano una superficie irregolare del prodotto, riconoscibile ad occhio nudo. In tal caso, è opportuno cambiare il silos di prelievo, agendo sulla console dell'impianto di alimentazione delle linee.

#### **5)Funzionamento dell'avvolgitore**

Tra le stazioni di linea, l'avvolgitore rappresenta quella più critica dal punto di vista del funzionamento; infatti, la struttura elettromeccanica e di controllo della macchina ne causa la vulnerabilità. In particolare, il mancato movimento di un elemento provoca l'interruzione della sequenza programmata e tutta la macchina si ferma, mentre il tubo continua ad accumularsi a monte dell'avvolgitore. In questi casi occorre intervenire in modo tempestivo, riattivando le funzioni dell'avvolgitore tramite il comando di test iniziale, attraverso cui si controlla il funzionamento di tutte le strutture mobili della stazione.

# CAPITOLO 4

## I PARAMETRI DI MACCHINA

### 4.1 Andamento dei parametri di macchina in funzione del diametro nominale del prodotto

Durante l'esperienza di tirocinio, si sono raccolti i dati riguardo ai parametri di funzionamento delle macchine in base al diametro del prodotto lavorato. Poiché le due stazioni più influenti sul tubo sono l'unità di estrusione e il corrugatore, si è scelto di tralasciare la raccolta di dati riguardo all'avvolgitore e alla vasca di raffreddamento.

Di seguito, sono riportati in forma tabellare i valori riguardanti il corrugatore e l'unità di estrusione in relazione al diametro del prodotto e i relativi grafici che ne descrivono l'andamento. A tal proposito, è opportuno rilevare che tali analisi hanno solo un valore descrittivo e le considerazioni effettuate in questo capitolo sono basate solo sull'osservazione grafica dei campioni.

#### 4.1.1 Parametri di macchina: corrugatore

PARAMETRI DEL CORRUGATORE						
data	tipo	linea	diámetro(mm)	T entrata (°C)	T uscita (°C)	v(m/min)
25/10/10	Roll Cable	3	40	12	17,9	12,18
22/10/10	Roll Cable	2	63	12,1	21,8	18
02/11/10	Roll Cable	2	90	12,1	21,6	15,3
22/10/10	Roll Cable	3	110	12,9	24,1	19,25
27/10/10	Roll Cable	2	125	12	24,3	15
21/10/10	Roll Cable	1	160	12,1	31,6	15

Tabella 4.1.1: Parametri macchina corrugatore

I parametri di macchina analizzati sono la **velocità di produzione**, la **temperatura di entrata e di uscita** dell'acqua di raffreddamento degli stampi.; di seguito se ne riportano i rispettivi andamenti grafici.

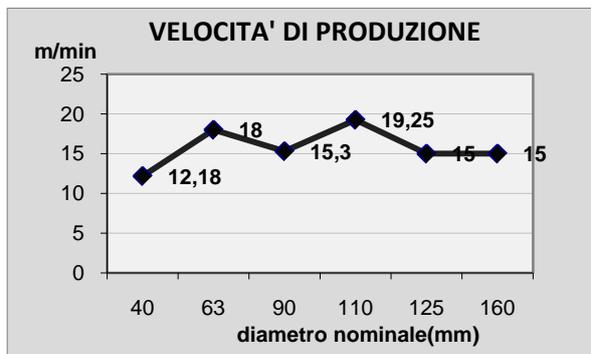


Grafico 4.1.1 a :Andamento della velocità di produzione

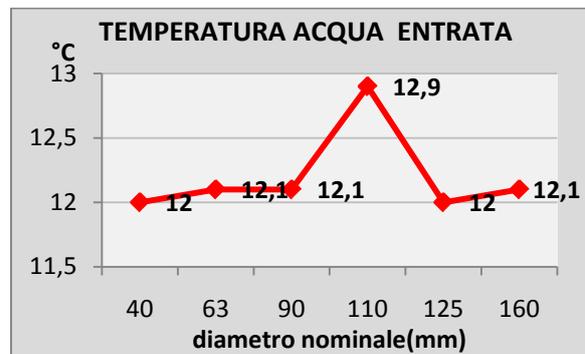


Grafico 4.1.1 b: Andamento della temperatura di entrata

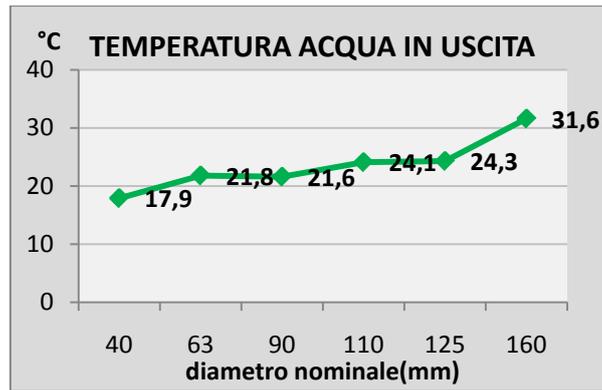


Grafico 4.1.1 c: Andamento temperatura uscita

La velocità di produzione sembra assumere valori tendenzialmente più alti in corrispondenza dei diametri medi quali il 63 mm o il 110 mm, per poi diminuire con i diametri piccoli e grandi (40mm e 160mm). Infatti, la velocità più alta registrata è di 19,25 m/min durante la produzione del 110 mm.

Riguardo alla temperatura dell'acqua di raffreddamento dal gruppo frigo al corrugatore, l'andamento grafico è pressoché costante, escluso il valore registrato per il diametro 110: esso si può considerare un *outlier* dovuto a condizioni ambientali esterne o di impianto.

Infine, considerando il grafico della temperatura dell'acqua dal corrugatore al gruppo frigo, la retta presenta una pendenza importante per diametri piccoli e grandi, mentre per diametri intermedi i valori si attestano in una fascia compresa tra i 21,6 e i 24,3 °C.

#### 4.1.2 Parametri di macchina: estrusore

RILEVAZIONI PARAMETRI ESTRUSORE						
data	tipo	linea	diametro (mm)	g vite(1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
25/10/10	Roll Cable	3	40	28,2	58,4	338
22/10/10	Roll Cable	2	63	51,8	151,9	300
02/11/10	Roll Cable	2	90	81,3	224	257
22/10/10	Roll Cable	3	110	173,7	361	341
27/10/10	Roll Cable	2	125	187	367,8	233
21/10/10	Roll Cable	1	160	96,7	554	334

Tabella 4.1.2: Parametri macchina estrusore

Osservando i grafici seguenti, si può notare che la portata dell'estrusore ha un andamento lineare in base al diametro del tubo corrugato; il valore minimo rilevato è pari a 58,4 kg/h in corrispondenza del 40 mm mentre il valore massimo di portata pari a 554 kg/h è stato riscontrato per il diametro 160 mm.

L'andamento dei giri vite in funzione del diametro presenta un andamento irregolare, non riconducibile ad alcuna relazione lineare.

Inoltre, la pressione del fuso (chiamata anche “**pressione di massa**”) presenta un andamento compreso tra i 233 bar e i 341 bar e, in prima approssimazione, sembra essere costante con il diametro del prodotto.

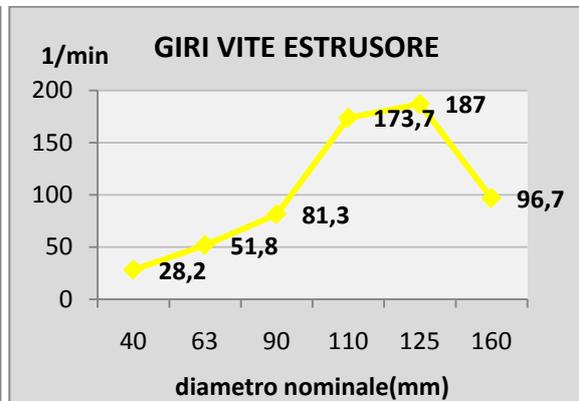
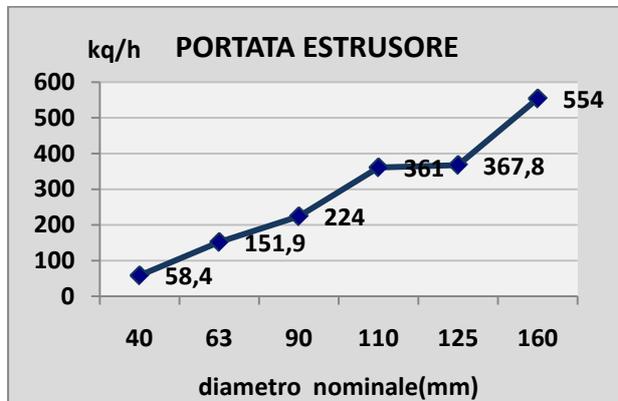


Grafico 4.1.2 a : Andamento portata estrusore

Grafico 4.1.2 b : Andamento giri vite estrusore

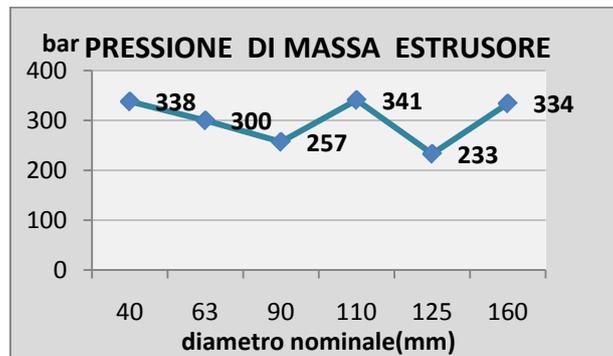


Grafico 4.1.2 c : Andamento pressione di massa estrusore

#### 4.1.3 Parametri di macchina : coestrusore

RILEVAZIONI PARAMETRI COESTRUSORE						
data	tipo	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
25/10/10	Roll Cable	3	40	22,2	19,4	339
22/10/10	Roll Cable	2	63	50,9	45,4	348
02/11/10	Roll Cable	2	90	74,7	63	265
22/10/10	Roll Cable	3	110	124,1	108	354
27/10/10	Roll Cable	2	125	115	97,9	271
21/10/10	Roll Cable	1	160	170,7	138	325

Tabella 4.1.3: Parametri macchina coestrusore

Nel caso del coestrusore, il valore massimo della portata è pari a 138 kg/h per il diametro 160 mm mentre il valore minimo è pari a 19,4 kg/h per il 40 mm; i giri vite presentano un picco di 170,7 giri/min per il 160mm mentre il valore minimo è di 22,2 giri/min per il 40mm.

L'andamento della pressione è compreso tra i 265 bar e i 354 bar, pertanto il parametro è mediamente più alto rispetto alla pressione nell'estrusore; anche in questo caso, l'andamento della pressione sembra essere costante rispetto al diametro del tubo.

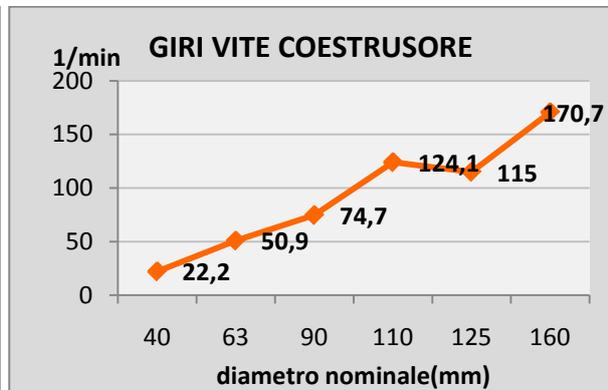
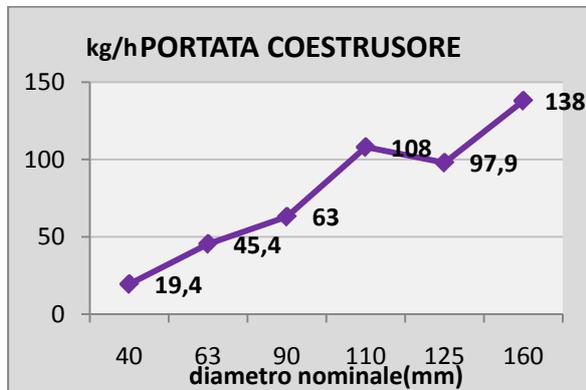


Grafico 4.1.3 a: Andamento portata coestrusore

Grafico 4.1.3 b: Andamento giri vite estrusore



Grafico 4.1.3 c: Andamento pressione di massa estrusore

## 4.2 Sensibilità dei parametri al tipo di prodotto

1) ROLL DRAIN E ROLL COM DIAMETRO 110 LINEA 3						
				CORRUGATORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	T entrata (°C)	T uscita (°C)	v (m/min)
21/10/10	Roll Drain	3	110	12,8	24,5	20.22
22/10/10	Roll Cable	3	110	12,9	24,1	19.25
				ESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
21/10/10	Roll Drain	3	110	174,9	364	341
22/10/10	Roll Cable	3	110	173,7	361	341
				COESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
21/10/10	Roll Drain	3	110	125,9	109	354
22/10/10	Roll Cable	3	110	124,1	108	354

Tabella 4.2 a: Indipendenza dei parametri di linea dal tipo di tubo(1)

La tabella 6.2 a è un primo esempio di come i parametri macchina per la produzioni di Roll Drain e Roll Cable siano sostanzialmente gli stessi; infatti, a parità di linea e di diametro i valori dei campi sono molto simili o addirittura uguali, come nel caso delle pressioni all'estrusore e al coestrusore. I dati presenti in tabella sono stati ricavati monitorando la linea tre per la produzione del medesimo tipo di diametro, ossia il 110mm.

2)ROLL COM E ROLL CABLE DIAMETRO 63 LINEA 2						
				CORRUGATORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	T entrata (°C)	T uscita (°C)	v (m/min)
26/10/10	Roll Com	2	63	11,4	22,5	18,48
22/10/10	Roll Cable	2	63	12,1	21,8	18
				ESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
26/10/10	Roll Com	2	63	54,5	154,6	306
22/10/10	Roll Cable	2	63	51,8	151,9	300
				COESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
26/10/10	Roll Com	2	63	51,4	43,8	349
22/10/10	Roll Cable	2	63	50,9	45,4	348

Tabella 4.2 b : Indipendenza dei parametri di linea dal tipo di tubo (2)

Un secondo esempio è spiegato dalla tabella 6.2 b: in questo caso, si sono esaminate le produzioni alla linea due del diametro 63 mm e i tipi di prodotti coinvolti sono il Roll Com ed il Roll Drain. Anche in questa situazione, i valori dei parametri si avvicinano molto tra loro. Alla luce delle analisi fatte, si può affermare che nel tubo corrugato i parametri di macchina non sono influenzati dalle materie prime, perché esse sono costanti per le tre tipologie di tubo prodotto.

### 4.3 Sensibilità dei parametri alla linea di produzione

1)DIAMETRO 125 LINEE 1-2						
				CORRUGATORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	T entrata (°C)	T uscita (°C)	v (m/min)
27/10/10	Roll Cable	2	125	12	24,3	15
29/10/10	Roll Cable	1	125	11,4	27,4	18,4
				ESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
27/10/10	Roll Cable	2	125	187	367,8	233
29/10/10	Roll Cable	1	125	77,6	449	227
				COESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
27/10/10	Roll Cable	2	125	115	97,9	271
29/10/10	Roll Cable	1	125	144,4	119	219

Tabella 4.3 a: Influenza della linea sui parametri macchina (1)

2)DIAMETRO 125 LINEE 1-2						
				CORRUGATORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	T entrata (°C)	T uscita (°C)	v (m/min)
02/11/10	Roll Com	1	125	11,4	28,3	18,3
27/10/10	Roll Cable	2	125	12	24,3	15
				ESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
02/11/10	Roll Com	1	125	81,5	464	281
27/10/10	Roll Cable	2	125	187	367,8	233
				COESTRUSORE		
data	prodotto	linea	diametro (mm)	g vite (1/min)	Q (kg/h)	p (bar)
02/11/10	Roll Com	1	125	142,6	116,7	272
27/10/10	Roll Cable	2	125	115	97,9	271

**Tabella 4.3 b :Influenza della linea sui parametri macchina (2)**

Come dimostrano le due tabelle precedenti, la linea di estrusione ha un'influenza rilevante sul valore dei parametri macchina; infatti, esclusa la temperatura d'entrata dell'acqua nel corrugatore, si nota che gli altri parametri cambiano a seconda che il prodotto sia fatto, nei due casi riportati, alla linea uno o alla linea due. In particolare, la velocità di produzione permessa dalla linea uno è maggiore rispetto a quella consentita dalla linea due; nell'estrusore, la portata di massa della linea uno è superiore rispetto alla linea due, nonostante valga la relazione opposta per quanto riguarda i giri vite. Tale aspetto è imputabile al diverso diametro della vite: infatti, l'estrusore della linea uno possiede una vite con diametro di 90 mm, mentre la corrispondente della linea due possiede un diametro di 75mm, per cui a parità di portata di massa fornita, la vite dell'estrusore uno effettua meno giri al minuto perché è diametralmente più grande.

Gli andamenti dei parametri di macchina riportati ai paragrafi precedenti non tengono conto dell'effetto della linea sui parametri stessi; pertanto, essi sono in relazione solamente con il diametro del prodotto perché l'obiettivo della tesi è quello di elaborare un modello previsionale in cui, per i parametri macchina, l'unico valore in ingresso sia il diametro del tubo.

Inoltre, l'esperienza di tirocinio ha consentito la rilevazione di una quantità di dati non sufficiente per classificare i parametri in base anche alla linea perché le produzioni possono impiegare anche diversi giorni, per cui risulta molto difficile rilevare tutti i parametri di interesse per ogni linea e per ogni diametro.

# CAPITOLO 5

## IL CONSUMO ENERGETICO E I COSTI DI PRODUZIONE

### 5.1 Potenze nominali installate sulle linee

Il presente capitolo ha lo scopo di evidenziare le potenze nominali installate nelle linee, per poi descrivere i dati numerici riguardo ai consumi energetici e ai costi di produzione, su cui si baseranno le considerazioni statistiche al capitolo sette. Inoltre, poiché spesso si parla di risparmio energetico negli impianti, si è analizzata una possibile causa di spreco energetico, ipotizzando una soluzione tecnica per impedirlo.

LINEA 1	kW	LINEA 2	kW	LINEA 3	kW
dosatori (D)	10	dosatori (D)	10	dosatori (D)	10
gruppo frigo(GF)	60	gruppo frigo (GF)	20	gruppo frigo (GF)	20
estrusore (E)	240	estrusore (E)	170	estrusore (E)	124
coestrusore (COE)	74	coestrusore (COE)	74	coestrusore (COE)	74
resistenze cilindro estrusore (RCE)	168	resistenze cilindro estrusore (RCE)	121	resistenze cilindro estrusore (RCE)	84
resistenze cilindro coestrusore (RCC)	49	resistenze cilindro coestrusore (RCC)	45	resistenze cilindro coestrusore (RCC)	49
resistenze testa(RT)	25	resistenze testa(RT)	25	resistenze testa(RT)	25
movimentazione corrugatore (MC)	40	movimentazione corrugatore (MC)	40	movimentazione corrugatore (MC)	40
ausiliari corrugatore (AC)	28	ausiliari corrugatore (AC)	28	ausiliari corrugatore (AC)	28
vasca di raffreddamento(VR)	5	vasca di raffreddamento(VR)	5	vasca di raffreddamento(VR)	5

**Tabella 5.1 a : Potenzialità nominali installate nelle linee**

La tabella 5.1 indica per ogni elemento di linea la potenzialità nominale assorbita; essa corrisponde alla potenzialità massima installata e, nella pratica, ogni macchina o strumentazione non viene mai sfruttata con rendimento pari a 1.

Dal confronto delle tre linee, emerge che le voci discriminanti sono le potenze nominali dell'estrusore e delle rispettive fasce riscaldanti; infatti, le altre voci non presentano differenze significative a seconda della linea di appartenenza, come è indicato dal Grafico 5.1 a che rappresenta le potenze nominali assorbite dalle diverse apparecchiature.

In precedenza si è accennato al fatto che tali valori sono nominali perché nella realtà le potenze reali assorbite sono diverse. Infatti, concentrando l'attenzione sull'unità di

estrusione, si può risalire alle potenzialità reali assorbite attraverso i rendimenti indicati nella Tabella 5.1 b. I rendimenti degli estrusori sono più alti rispetto a quelli dei coestrusori ma, analizzando il delta tra valore nominale e reale, si nota che l'estrusore della linea uno è quello sfruttato meno, pur avendo un rendimento del 64%.

Di seguito sono rappresentati gli andamenti delle potenze nominali delle diverse linee e l'incidenza dei rendimenti sulle potenzialità reali assorbite dall'unità di estrusione per ogni linea.

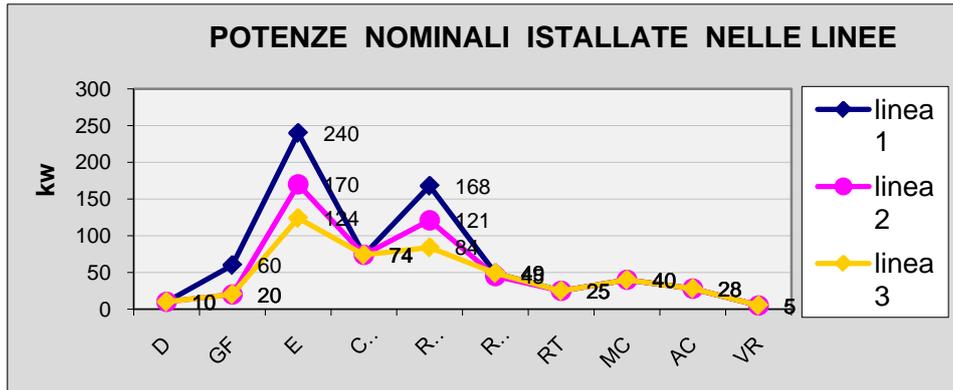


Grafico 5.1 a: Andamento delle potenze nominali per ogni linea

	POTENZE NOMINALI(kw)	RENDIMENTI(kw)	POTENZE REALI(kw)	DELTA
<b>ESTRUSORE LINEA 1(E1)</b>	240	0,64	153,6	86,4
<b>COESTRUSORE LINEA 1(COE1)</b>	74	0,6	44,4	29,6
<b>ESTRUSORE LINEA 2(E2)</b>	170	0,65	110,5	59,5
<b>COESTRUSORE LINEA 2(COE2)</b>	74	0,55	40,7	33,3
<b>ESTRUSORE LINEA 3(E3)</b>	124	0,65	80,6	43,4
<b>COESTRUSORE LINEA 3(COE3)</b>	74	0,49	36,26	37,74

Tabella 5.1 b: Rendimenti delle unità di estrusione

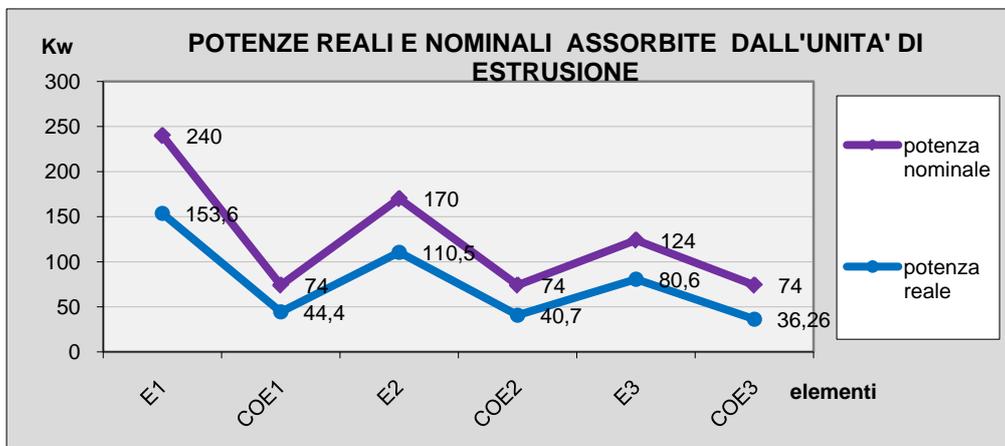


Grafico 5.1 b: Differenza tra potenze nominali e reali assorbite

## 5.2 Consumo energetico e costo di produzione in funzione del diametro del tubo

Contrariamente ai parametri macchina, le seguenti considerazioni sui costi di produzione e sui consumi energetici sono supportate da dati forniti dall'Ufficio Produzione e si riferiscono ad un periodo di nove mesi, dal 1 Gennaio '10 al 30 Settembre '10.

Inizialmente, i dati forniti erano il consumo energetico, il costo di produzione totale e il costo di produzione per una tonnellata, calcolati per ogni diametro nelle rispettive linee di produzione. Dividendo i costi totali con i relativi valori del costo a tonnellata si sono ricavate le quantità prodotte con riferimento al periodo di osservazione; dividendo il consumo energetico totale per le tonnellate prodotte si è determinato poi il consumo energetico per una tonnellata di prodotto.

linea	D (mm)	ton prod	ton/m ese	cet kWh tot	costo prod totale	cps euro/ton	ces kWh/ton	cem kWh/mese
3	40	69,24	7,69	197317,56	21704,93	313,46	25646,73	21924,17
3	50	124,97	13,89	181181,63	19929,98	159,48	13048,36	20131,29
3	63	201,68	22,41	214130,87	23554,4	116,79	9555,54	23792,32
2	63	201,68	22,41	234111,92	25752,31	127,69	10447,36	26012,44
2	75	139,92	15,55	135763,71	14934,01	106,73	8732,45	15084,86
2	90	370,86	41,21	266614,53	29327,6	79,08	6470,18	29623,84
2	110	641,82	71,31	407786,84	44856,55	69,89	5718,27	45309,65
1	110	641,82	71,31	448221,31	49304,34	76,82	6285,27	49802,37
1	125	830,84	92,32	528864,26	58175,07	70,02	5728,91	58762,70
1	140	51,13	5,68	31433,86	3457,72	67,62	5532,55	3492,65
1	160	742,43	82,49	381473,46	41962,08	56,52	4624,36	42385,94

Tabella 5.2 a: Costi e consumi totali e specifici su 9 mesi di produzione

I parametri energetici e di costo descritti sono il **cet** (consumo energetico totale su 9 mesi di produzione), il **cps** (costo di produzione specifico), il **ces** (consumo energetico specifico) ed il **cem** (consumo energetico mensile).

Di seguito sono rappresentati gli andamenti dei parametri accennati in precedenza, in funzione dei diametri prodotti e delle linee. Osservando i grafici corrispondenti, il consumo energetico e il costo di produzione specifici sembrano essere inversamente proporzionali ai diametri.

Sfruttando questa situazione, l'azienda tende a privilegiare la produzione dei diametri medio - grandi, compatibilmente con le esigenze di mercato e di stock. Ciò è dimostrato dal grafico 5.2 c che rappresenta le tonnellate prodotte per ogni diametro, in relazione ai 9 mesi di osservazione: i picchi di produzione si sono avuti per diametri 125 mm e 160 mm, prodotti

nella linea uno. L'elevata produzione di queste figure è stata dettata sicuramente da ragioni di mercato e di ripristino delle scorte; tuttavia, i valori particolarmente bassi dei costi di produzione e del consumo energetico specifici ne hanno favorito la programmazione produttiva, assegnando gli ordini di produzione alla linea uno.

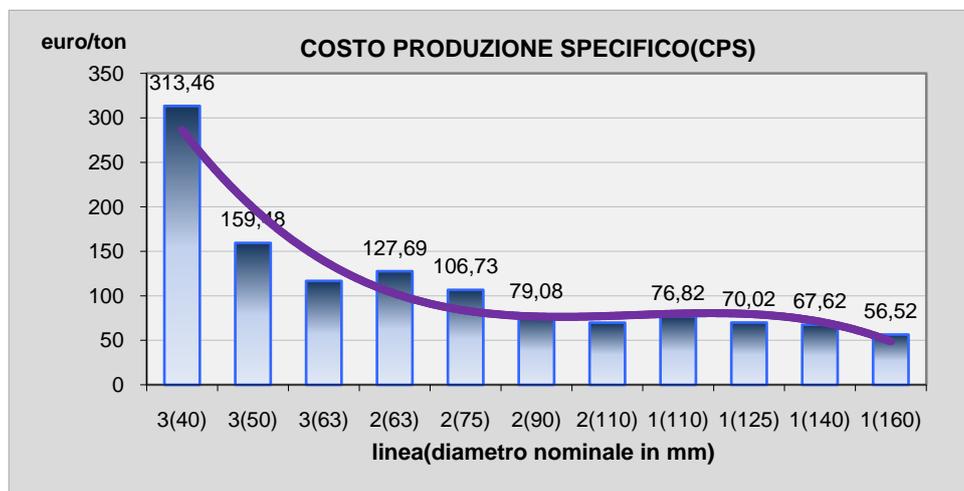


Grafico 5.2 a: Andamento del costo di produzione specifico

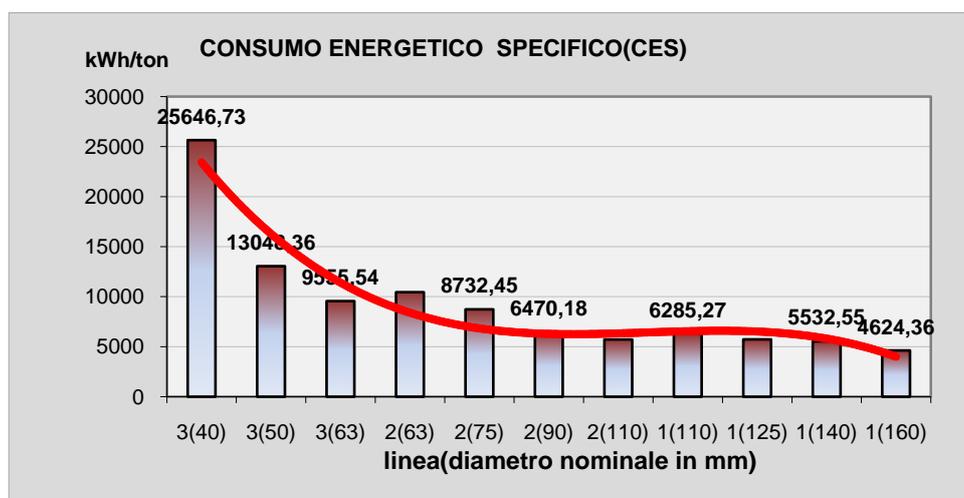


Grafico 5.2 b: Andamento del consumo energetico specifico

In particolare, il costo di produzione specifico presenta il valore massimo di 313,45 euro/ton alla linea tre per il diametro 40 mm mentre il valore minimo del parametro è 56,52 euro/ton rilevato alla linea uno con il 160 mm. Riguardo al consumo energetico specifico, il valore minimo rilevato è di 4624,36 kWh/ton per la linea uno e il diametro 160 mm, mentre il valore massimo è pari a 25646,73 kWh/ton per la linea tre e il diametro 40 mm.

Considerando i nove mesi di rilevazione dei parametri, si possono ricavare i consumi energetici totali delle linee moltiplicando il consumo energetico specifico per le tonnellate

prodotte in funzione del diametro e della linea. Il grafico 5.2.f dimostra che la linea uno incide per il 46 % circa sui consumi energetici totali del periodo di riferimento; seguono poi le linee due e tre rispettivamente con il 34,5% e con il 19,6%.

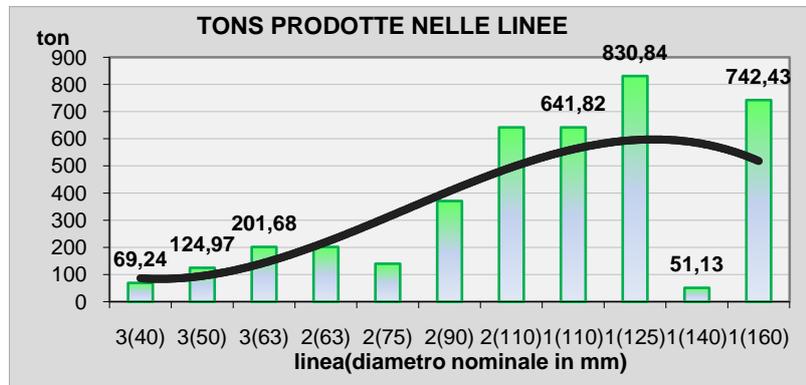


Grafico 5.2 c: Produzione totale in relazione al diametro del prodotto

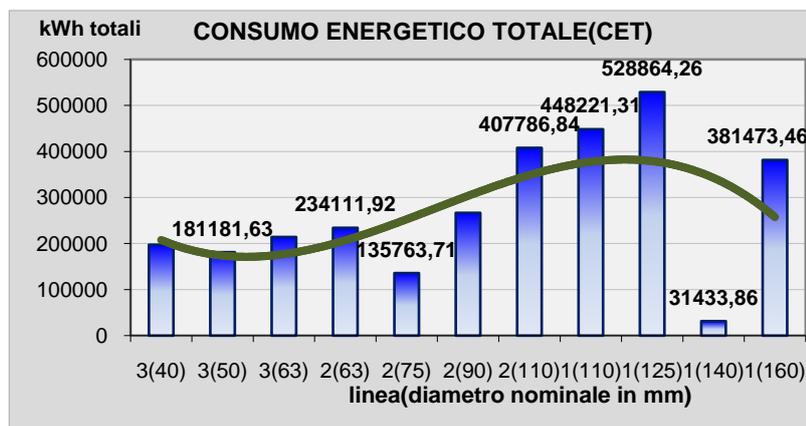


Grafico 5.2 d: Produzione totale in relazione al diametro del prodotto

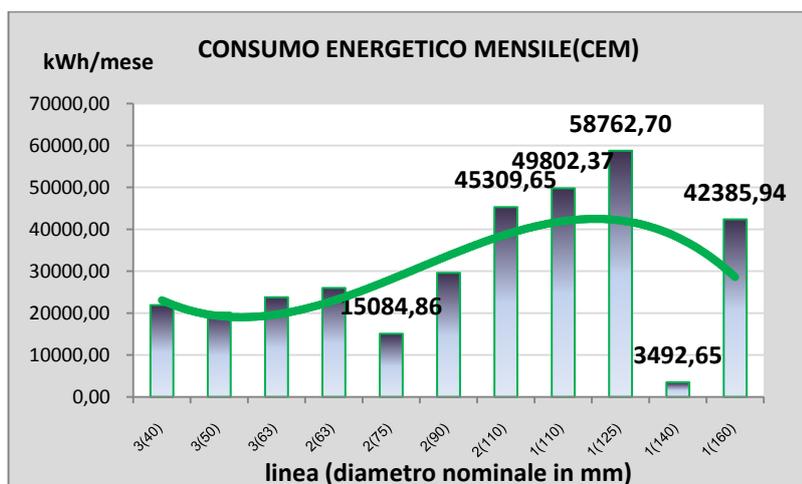


Grafico 5.2 e: Produzione totale in relazione al diametro del prodotto

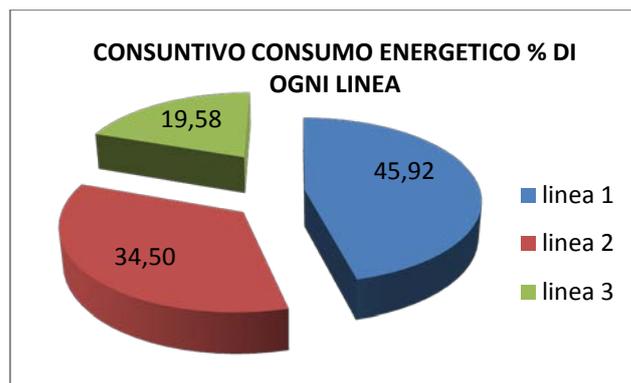


Grafico 5.2 f :Consumo energetico percentuale delle linee nel periodo di riferimento

### 5.3 Zone di dissipazione energetica

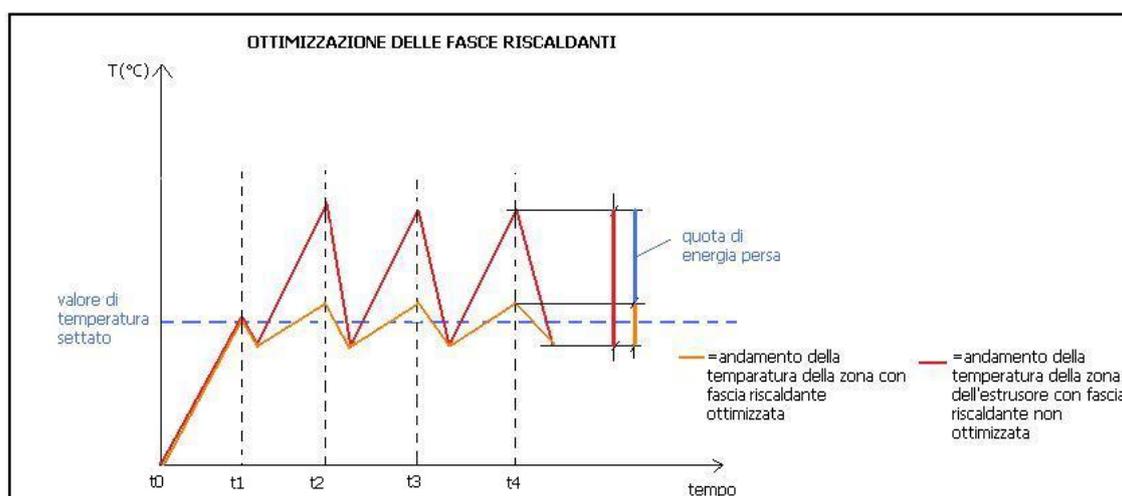


Figura 5.3 : Azione delle fasce riscaldanti

Pur essendoci diverse zone di dissipazione di energia nella linea, la stazione più delicata in questo senso è l'unità di estrusione; in particolare, il funzionamento delle fasce riscaldanti attualmente installate sui cilindri delle linee non è ottimizzato.

Infatti, come si vede in Figura 5.3, nella fase di avviamento la fascia riscaldante inizia a lavorare al pieno della propria potenzialità calorifica, raggiungendo all'istante  $t_1$  il valore settato; a questo punto essa si spegne, per cui la temperatura del cilindro tende a diminuire. Avvertendo tale fenomeno, tramite il sistema di gestione e rilevazione della temperatura, la fascia riscaldante riprende a riscaldare sempre al 100% della propria potenzialità, raggiungendo e superando la temperatura impostata del cilindro e questo processo "ad

impulsi” si continua a ripetere. Il grafico soprastante evidenzia la quota energetica sprecata nei picchi continui per il mantenimento del valore di set.

La soluzione consiste nell'istallare delle fasce che prevedano un impulso al 100% solo nella fase iniziale di raggiungimento del valore settato; nella fase invece di mantenimento, la potenzialità della resistenza dovrebbe essere circa il 30% di quella massima, in modo tale da “inseguire” con più precisione il valore impostato di temperatura del cilindro.

Quest'aspetto è molto importante se si considera che la quota di energia termica fornita in più dalle fasce non ottimizzate viene asportata tramite il sistema di soffianti; quindi, in questa situazione si ha un duplice spreco di energia dovuto all'eccessivo riscaldamento del cilindro e al suo raffreddamento forzato fino alla temperatura di set.

I maggiori costruttori di estrusori stanno introducendo una nuova tecnologia di riscaldamento del cilindro per evitare fenomeni dissipativi come quelli accennati precedentemente. I nuovi cilindri saranno riscaldati non più per conduzione tramite fasce in materiale ceramico, ma attraverso onde elettromagnetiche ad infrarosso: in tale modo, il calore viene sviluppato in modo più omogeneo e la superficie del cilindro risulterà a temperatura uniforme. Inoltre, questo sistema sarà più efficiente e versatile perché la performance dell'apparato riscaldante (e quindi la sua potenzialità) potrà essere regolabile agendo sulla sorgente di onde.

# CAPITOLO 6

## I PARAMETRI DIMENSIONALI DEL TUBO CORRUGATO

### 6.1 Andamento dei parametri dimensionali medi in funzione del diametro

I dati forniti dall'Ufficio Controllo Qualità si riferiscono a un periodo che va dal 10 Giugno '10 all' 8 Ottobre '10; per ogni diametro, sono stati verificati i parametri dimensionali del tubo (indicati in Figura 2.4.2 a) ed il peso al metro. La tabella 6.1 sintetizza i valori medi dei parametri per ogni diametro, per cui ogni valore è la media di undici rilevazioni effettuate in date diverse nel periodo di studio. Lo scopo della trattazione è di descrivere l'andamento dei parametri dimensionali medi, raccogliendo i dati utili per le considerazioni effettuate al capitolo 7 e determinare poi dai dati effettivi rilevati il parametro dimensionale maggiormente fuori specifica.

Di seguito saranno riportati gli andamenti grafici dei parametri dimensionali che, come nel caso dei parametri macchina e dei consumi energetici, hanno un valore descrittivo del campione rilevato, senza alcuna valenza inferenziale.

DN(mm)	DE (mm)	DI (mm)	A (mm)	B (mm)	sp1 (mm)	sp2 (mm)	p(g/m)
40	40,39	32,77	4,55	3,85	0,42	0,25	111,09
50	50,47	41,56	5,11	4,51	0,44	0,23	148,18
63	63,70	52,74	6,90	5,55	0,45	0,18	178,73
75	76,11	62,80	7,16	6,70	0,42	0,29	233,91
90	91,38	76,37	8,05	7,58	0,48	0,33	320,91
110	111,66	93,92	10,89	8,88	0,59	0,34	415,00
125	126,78	107,90	10,62	9,56	0,60	0,35	514,27
160	162,14	138,45	13,37	11,81	0,71	0,37	776,55

Tabella 6.1 :Valori medi dei parametri dimensionali in funzione del diametro nominale

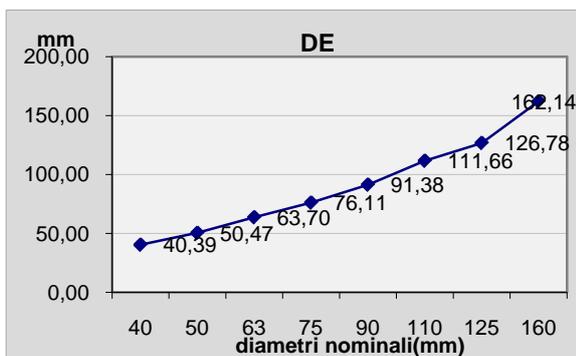


Grafico 6.1 a: Andamento diametro esterno

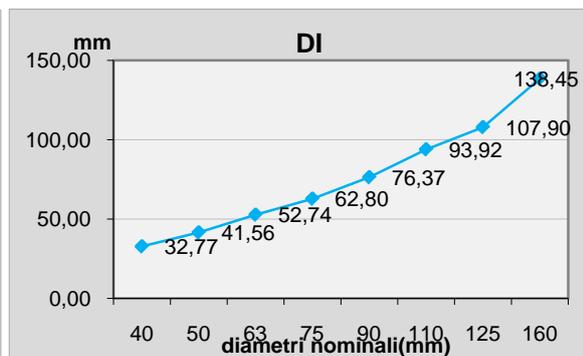


Grafico 6.1 b: Andamento diametro interno

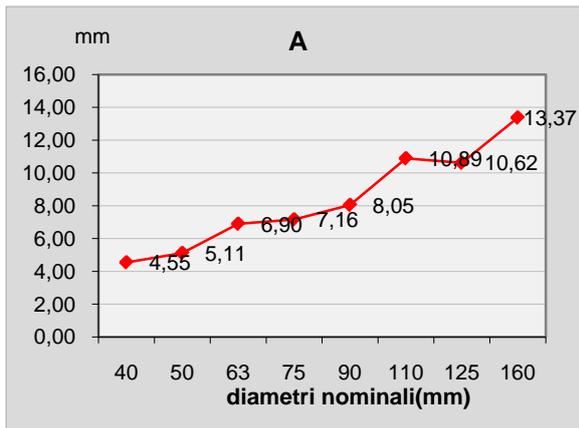


Grafico 6.1 c: Andamento larghezza costa

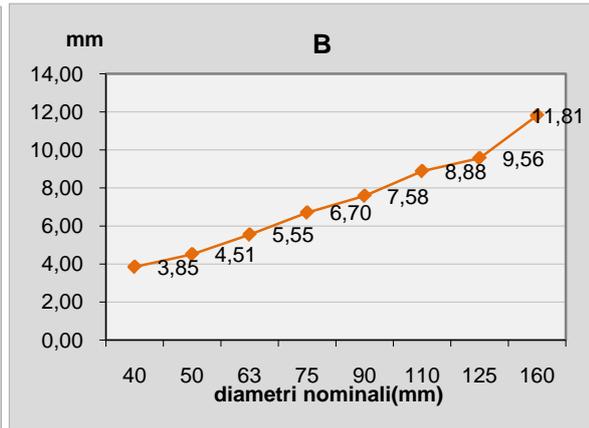


Grafico 6.1 d: Andamento altezza costa

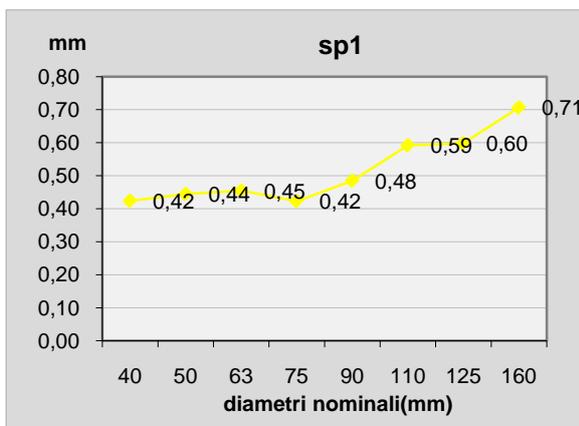


Grafico 6.1 e: Andamento spessore strato esterno

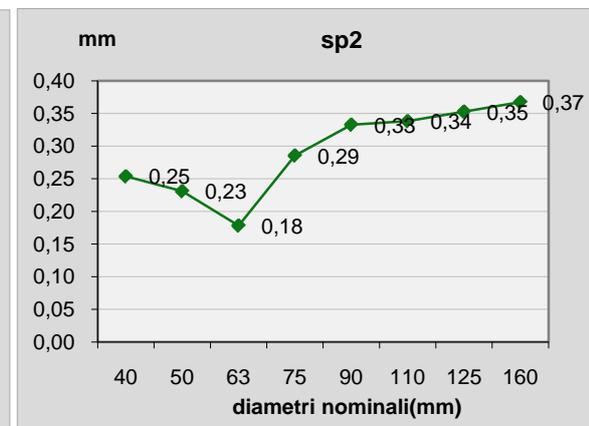


Grafico 6.1 f: Andamento spessore strato interno

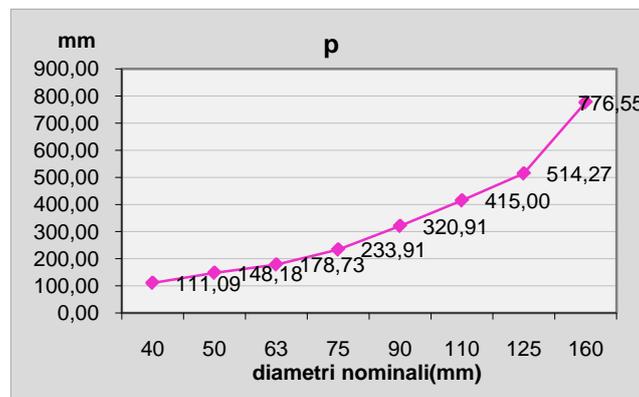


Grafico 6.1 g: Andamento peso al metro

Osservando visivamente i grafici soprastanti, si nota che l'andamento dei dati sperimentali rilevati è generalmente lineare rispetto al diametro del prodotto; il set di dati riguardo lo spessore dello strato interno (sp2) presenta un dato anomalo per il diametro 63 mm, in contrasto con la tendenza del campione di osservazioni.

## 6.2 Parametri dimensionali effettivi rilevati

Al paragrafo 6.1 si sono esaminati gli andamenti medi dei parametri dimensionali del tubo; come già accennato, essi sono la media di 11 rilevazioni per ciascun parametro, in funzione del diametro del prodotto. Nelle tabelle seguenti sono indicate tutte le rilevazioni, la cui dispersione è dettata dalla deviazione standard per ogni parametro esaminato.

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	40	40,4	33,01	4,6	3,87	0,5	0,38	120
2	40	40,43	32,84	4,61	3,9	0,54	0,36	122
3	40	40,39	32,83	4,56	3,91	0,39	0,22	111
4	40	40,35	32,81	4,53	3,9	0,41	0,24	107
5	40	40,39	32,64	4,52	3,86	0,4	0,2	109
6	40	40,38	32,73	4,46	3,84	0,41	0,2	109
7	40	40,34	32,75	4,57	3,78	0,4	0,23	109
8	40	40,29	32,69	4,48	3,82	0,43	0,24	110
9	40	40,43	32,69	4,59	3,85	0,39	0,25	109
10	40	40,4	32,63	4,53	3,8	0,4	0,27	109
11	40	40,44	32,8	4,56	3,81	0,39	0,2	107
	<b>media(mm)</b>	40,38	32,76	4,55	3,85	0,43	0,26	111,50
	<b>dev std(mm)</b>	0,04	0,10	0,05	0,04	0,05	0,06	5,05

Tabella 6.2 a: Rilevazioni diametro 40 mm

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	50	50,49	41,41	5,07	4,53	0,46	0,19	150
2	50	50,56	41,58	4,89	4,53	0,44	0,2	149
3	50	50,56	41,55	4,99	4,54	0,43	0,18	147
4	50	50,54	41,58	4,94	4,55	0,48	0,31	154
5	50	50,42	41,61	5,14	4,5	0,45	0,28	150
6	50	50,46	41,54	5,25	4,51	0,44	0,23	148
7	50	50,39	41,85	5,33	4,4	0,44	0,23	145
8	50	50,31	41,59	5,35	4,53	0,45	0,21	145
9	50	50,53	41,43	5,12	4,52	0,45	0,27	151
10	50	50,47	41,51	5,1	4,5	0,43	0,24	147
11	50	50,43	41,56	5,08	4,51	0,42	0,2	144
	<b>media(mm)</b>	50,47	41,56	5,11	4,51	0,44	0,23	148,18
	<b>dev std(mm)</b>	0,08	0,11	0,15	0,04	0,02	0,04	2,99

Tabella 6.2 b: Rilevazioni diametro 50 mm

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	63	63,89	52,88	7,13	5,63	0,48	0,27	183
2	63	63,74	52,66	6,67	5,54	0,45	0,18	184
3	63	63,6	52,73	7,05	5,55	0,44	0,15	176
4	63	63,72	52,76	7,09	5,54	0,51	0,16	177
5	63	63,66	52,69	7,06	5,5	0,45	0,13	174
6	63	63,82	52,77	6,75	5,54	0,48	0,18	182
7	63	63,6	52,78	6,98	5,42	0,43	0,18	178
8	63	63,69	52,63	6,78	5,45	0,42	0,18	177
9	63	63,74	52,71	6,76	5,61	0,43	0,17	176
10	63	63,57	52,78	6,83	5,5	0,46	0,17	176
11	63	63,68	52,79	6,77	5,52	0,45	0,19	183
	<b>media(mm)</b>	63,70	52,74	6,90	5,55	0,45	0,18	178,73
	<b>dev std(mm)</b>	0,10	0,07	0,17	0,06	0,03	0,03	3,55

Tabella 6.2 c: Rilevazioni diametro 63 mm

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	75	76,01	62,89	7,19	6,75	0,47	0,34	234
2	75	76,16	62,72	7,31	6,7	0,43	0,31	233
3	75	76,07	62,87	7,37	6,76	0,46	0,31	248
4	75	76,19	62,87	7,39	6,8	0,47	0,3	231
5	75	76,18	62,65	7,09	6,67	0,4	0,27	230
6	75	76,25	62,74	6,96	6,67	0,42	0,35	248
7	75	76,13	62,85	7,06	6,65	0,43	0,29	230
8	75	75,89	62,67	6,96	6,68	0,38	0,22	227
9	75	76,03	62,88	7,21	6,72	0,4	0,25	237
10	75	76,12	62,86	7,08	6,63	0,39	0,23	227
11	75	76,13	62,82	7,18	6,71	0,4	0,27	228
	<b>media(mm)</b>	76,11	62,80	7,16	6,70	0,42	0,29	233,91
	<b>dev std(mm)</b>	0,10	0,09	0,15	0,05	0,03	0,04	7,60

Tabella 6.2 d: Rilevazioni diametro 75 mm

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	90	91,2	76,43	8,04	7,62	0,5	0,36	316
2	90	91,38	76,57	7,93	7,59	0,52	0,33	313
3	90	91,35	76,44	8,03	7,62	0,48	0,36	315
4	90	91,35	76,24	8,15	7,6	0,49	0,31	315
5	90	91,2	76,48	8,22	7,55	0,48	0,31	311
6	90	91,58	76,35	8,01	7,64	0,52	0,32	330
7	90	91,51	76,34	8,11	7,66	0,47	0,38	331
8	90	91,56	76,24	8,02	7,65	0,47	0,35	332
9	90	91,38	76,25	8,08	7,52	0,48	0,32	325
10	90	91,29	76,38	7,99	7,42	0,48	0,35	329
11	90	91,43	76,3	7,93	7,55	0,44	0,27	313
	<b>media(mm)</b>	91,38	76,372	8,058	7,587	0,489	0,339	321,7
	<b>dev std(mm)</b>	0,13	0,11	0,09	0,07	0,02	0,03	8,41

Tabella 6.2 e: Rilevazioni diametro 90 mm

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	110	111,71	94,03	11	8,91	0,6	0,42	415
2	110	111,66	94,17	10,96	8,8	0,71	0,43	413
3	110	111,56	94,17	11,04	8,75	0,66	0,39	413
4	110	111,65	93,91	10,94	8,96	0,6	0,35	418
5	110	111,62	93,78	10,97	8,98	0,61	0,3	417
6	110	111,72	93,93	10,95	8,94	0,6	0,3	410
7	110	111,5	93,8	10,98	8,92	0,56	0,3	407
8	110	111,7	93,94	10,87	8,87	0,55	0,33	423
9	110	111,68	93,73	10,83	8,9	0,56	0,27	411
10	110	111,72	93,84	10,86	8,86	0,53	0,29	420
11	110	111,71	93,83	10,96	8,83	0,53	0,34	418
	<b>media(mm)</b>	111,652	93,93	9,94545455	8,889	0,598	0,338	414,7
	<b>dev std(mm)</b>	0,07	0,15	0,06	0,07	0,06	0,05	4,73

Tabella 6.2 f : Rilevazioni diametro 110 mm

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	125	126,61	108,26	10,66	9,55	0,62	0,39	516
2	125	126,68	108	10,62	9,46	0,63	0,36	525
3	125	126,59	107,94	10,56	9,57	0,61	0,36	518
4	125	126,79	107,82	10,69	9,58	0,6	0,33	515
5	125	126,79	107,97	10,73	9,61	0,61	0,35	519
6	125	126,89	107,82	10,67	9,78	0,65	0,37	517
7	125	126,76	107,6	10,6	9,58	0,58	0,32	509
8	125	126,86	107,95	10,58	9,56	0,59	0,34	505
9	125	126,79	107,88	10,58	9,61	0,55	0,35	502
10	125	126,85	107,83	10,43	9,47	0,55	0,37	506
11	125	126,98	107,78	10,65	9,43	0,59	0,34	525
	<b>media(mm)</b>	126,78	107,90	10,62	9,56	0,60	0,35	514,27
	<b>dev std(mm)</b>	0,12	0,16	0,08	0,09	0,03	0,02	7,81

Tabella 6.2 g : Rilevazioni diametro 125 mm

campione	d.nominale	de(mm)	di (mm)	A(mm)	B(mm)	sp1(mm)	sp2(mm)	peso (g/m)
1	160	161,96	138,31	13,39	11,71	0,79	0,36	782
2	160	162	138,16	13,42	11,8	0,71	0,34	772
3	160	162,08	138,32	13,37	11,86	0,78	0,36	776
4	160	162,05	138,35	13,31	11,87	0,7	0,39	774
5	160	162,18	138,7	13,47	11,81	0,68	0,39	783
6	160	162,38	138,68	13,43	11,74	0,67	0,42	775
7	160	162,32	138,44	13,51	11,84	0,67	0,35	773
8	160	162,21	138,61	13,23	11,79	0,69	0,37	771
9	160	162,16	138,31	13,29	11,87	0,68	0,33	772
10	160	162,14	138,55	13,27	11,78	0,7	0,37	779
11	160	162,1	138,48	13,37	11,82	0,7	0,36	785
	<b>media(mm)</b>	162,14	138,45	13,37	11,81	0,71	0,37	776,55
	<b>dev std(mm)</b>	0,13	0,17	0,09	0,05	0,04	0,03	4,93

Tabella 6.2 h : Rilevazioni diametro 160 mm

I dati effettivi sono stati presentati per completezza ed hanno lo scopo di evidenziare il procedimento che ha portato alla creazione della tabella 6.1. Tuttavia, a livello analitico, si è preferito evitare di descrivere gli andamenti specifici dei dati rilevati perché il capitolo ha la funzione di presentare la descrizione media dei parametri, da cui si ricaveranno le leggi per il modello previsionale. Essendo il modello una stima, si è scelto di analizzare solo l'andamento dei valori medi in modo tale da essere coerenti con il carattere "non deterministico" del modello ed avere un numero di dati facilmente gestibile.

### 6.3 Analisi delle non conformità dei parametri dimensionali

Grazie ai dati forniti dal Controllo Qualità, è stato possibile verificare quale parametro dimensionale del prodotto sia il più critico; in particolare, si è verificato il numero di osservazioni su 11 rilevate che non erano conformi al valore di specifica, indicato per ogni parametro e diametro nella Tabella 6.2 a.

DN(mm)	de (mm)	di (mm)	A (mm)	B (mm)	sp1 (mm)	sp2 (mm)	p(g/m)
40	40+0.7max	min 32.2	min 4.1	min 3.9	min 0.4	min 0.2	103-107
50	50+0.9 max	min 40.8	min 4.6	min 4.6	min 0.5	min 0.2	145-155
63	63+1.2 max	min 51.5	min 6.2	min 5.75	min 0.5	min 0.2	180-190
75	75+1.4max	min 61.5	min 6.8	min 6.75	min 0.4	min 0.2	225-235
90	90+1.7max	min 74.8	min 7.6	min 7.6	min 0.5	min 0.2	310-320
110	110+2max	min 92.2	min 10.3	min 8.9	min 0.5	min 0.2	410-430
125	125+2.3max	min 105.7	min 10	min 9.65	min 0.6	min 0.2	515-535
160	160+2.9max	min 136.4	min 12.7	min 11.8	min 0.7	min 0.2	765-795

Tabella 6.3 a: Valori di specifica per ogni in funzione del parametro dimensionale e del diametro

Dall'analisi accennata sopra, si sono calcolati i **coefficienti di non conformità (CNF)** tramite il rapporto tra il numero di osservazioni non conformi e il numero totale di osservazioni, ossia 11; questo procedimento ha portato ai risultati in Tabella 6.2 b.

DN(mm)	CNF de	CNF di	CNF A	CNF B	CNF sp1	CNF sp2	CNF p
40	0	0	0	0,73	0,27	0,00	0,82
50	0	0	0	1,00	1,00	0,18	0,09
63	0	0	0	1,00	0,91	0,91	0,64
75	0	0	0	0,73	0,18	0,00	0,27
90	0	0	0	0,45	0,73	0,00	0,45
110	0	0	0	0,45	0,00	0,00	0,09
125	0	0	0	0,91	0,45	0,00	0,36
160	0	0	0	0,36	0,45	0,00	0,00

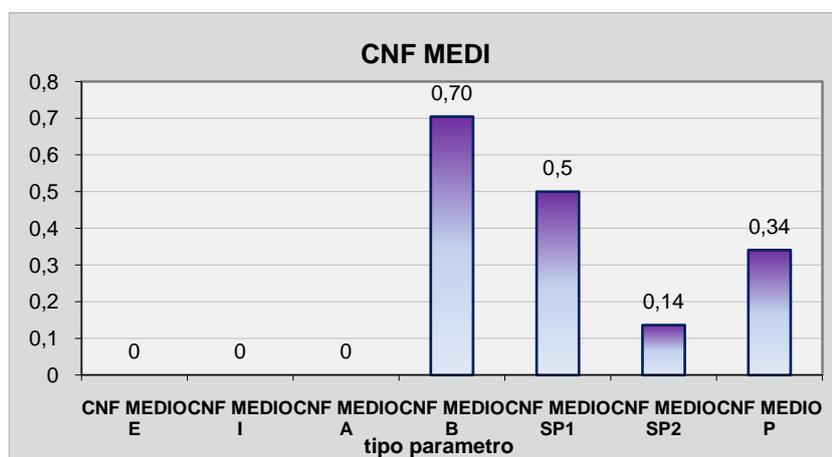
Tabella 6.3 b: CNF in funzione del parametro e del diametro del prodotto

In seguito, si sono calcolati i CNF MEDI per evidenziare quale parametro presenta la non conformità mediamente più alta considerando la gamma dei prodotti principali e tali valori si sono rappresentati nel Grafico 6.2 a.

CNF MEDIO DE	CNF MEDIO DI	CNF MEDIO A	CNF MEDIO B	CNF MEDIO sp1	CNF MEDIO sp2	CNF MEDIO p
0	0	0	0,70	0,5	0,14	0,34

**Tabella 6.3 c: CNF MEDI in funzione del parametro e del diametro del prodotto**

Come si nota dal grafico, il valore mediamente più alto di non conformità è caratteristico del parametro B, ossia dell'altezza della costa. Tuttavia, dal punto di vista funzionale, B non ha un ruolo decisivo, mentre i parametri determinanti per le caratteristiche meccaniche sono A e lo spessore dello strato esterno sp1. In questo senso, A è perfettamente in linea con le specifiche mentre sp1 presenta un CNF MEDIO di 0.5.



**Grafico 6.3: CNF MEDI in funzione del tipo di tubo**

Per ovviare alla non conformità del parametro sp1, è importante effettuare un maggiore controllo negli organi di regolazione dello spessore in macchina. In particolare, una soluzione potrebbe essere l'installazione di un sistema di scansione, collegato in modo retroattivo alle viti di regolazione della testa, che permetta il monitoraggio continuo dello spessore sulla circonferenza del tubo e, in base all'errore riscontrato, invii dei segnali di correzione alla filiera. In questo modo, la regolazione dello spessore avviene più tempestivamente rispetto all'attuale modalità riscontrata in linea. Tuttavia, è ovvio che implementare un sistema di regolazione automatico degli spessori comporta un costo di strumentazione e installazione importante, giustificabile solo per volumi produttivi considerevoli.

# CAPITOLO 7

## RELAZIONI DEI PARAMETRI MACCHINA, DIMENSIONALI, DEL CONSUMO ENERGETICO E DEL COSTO DI PRODUZIONE SPECIFICI

### 7.1 Determinazione equazioni dei parametri di macchina

Il primo passo per la determinazione del modello previsionale è la stima della retta di regressione per il set campionario a disposizione; tramite il calcolo dei coefficienti  $b_1$  e  $b_0$ , si ottiene una retta che restituisce un output in funzione di un valore di input, nella fattispecie il diametro del tubo.

È fondamentale rilevare che la stima delle rette di regressione è un'analisi statistica descrittiva, pertanto non è corretto estendere tali relazioni a tutta la popolazione di dati campionari facenti parte il processo produttivo.

Di seguito, sono riportati i procedimenti per la stima delle rette di regressione per i parametri di linea, suddivisi in base alla stazione di competenza.

#### 7.1.1 Estrusore

La tabella 7.1.1 a riassume i parametri macchina che interessano l'estrusore; verranno stimate in ordine le equazioni della portata, della pressione e dei giri vite.

PARAMETRI MACCHINA: ESTRUSORE			
diámetro (mm)	portata (kg/h)	pressione (bar)	giri vite (1/min)
40	58,4	338	28,2
63	151,9	300	51,8
90	224	257	81,3
110	361	341	173,7
125	367,8	233	187
160	554	334	96,7
<b>d medio</b>	<b>Q media</b>	<b>p media</b>	<b>g media</b>
98	286,1833333	300,5	103,12

Tabella 7.1.1 a :Sintesi parametri estrusore

1)RETTA PORTATA			
d-dmedia	Q-Qmedia	(d-dmedia)*(Q-Qmedia)	(d-dmedia)^2
-58	-227,7833	13211,4314	3364
-35	-134,2833	4699,9155	1225
-8	-62,1833	497,4664	64
12	74,8167	897,8004	144
27	81,6167	2203,6509	729
62	267,8167	16604,6354	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		38114,9	9370
<b>Q=4,07*D-112,457</b>			
b1	b0	indice di correlazione	
4,067758805	-112,45703	0,99132188	

Tabella 7.1.1 b :Procedimento analitico per la stima della retta di portata

2)RETTA PRESSIONE			
d-d media	p-pmedia	(d-dmedia)*(p-pmedia)	(d-dmedia)^2
-58	37,5	-2175	3364
-35	-0,5	17,5	1225
-8	-43,5	348	64
12	40,5	486	144
27	-67,5	-1822,5	729
62	33,5	2077	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		-1069	9370
<b>P=-0,11409*D+311,7</b>			
b1	b0	indice di correlazione	
-0,114087513	311,6805763	-0,10717581	

Tabella 7.1.1 c :Procedimento analitico per la stima della retta di pressione

3)RETTA GIRI VITE			
d-d media	g-gmedia	(d-dmedia)*(g-gmedia)	(d-dmedia)^2
-58	-74,9167	4345,1686	3364
-35	-51,3167	1796,0845	1225
-8	-21,8167	174,5336	64
12	70,5833	846,9996	144
27	83,8833	2264,8491	729
62	-6,4167	-397,8354	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		9029,8	9370
<b>G=0,963693*D+8,674788</b>			
b1	b0	indice di correlazione	
0,963692636	8,674788332	0,647098243	

Tabella 7.1.1 d :Procedimento analitico per la stima della retta dei giri vite

Il campione di dati esaminato evidenzia che la portata dell'estrusore è in relazione lineare diretta con il diametro del tubo; ciò è dimostrato dall'indice di correlazione pari a 0,99. Tuttavia, essendo proporzionale alla sezione di passaggio, è più corretto affermare che tecnicamente essa è proporzionale al quadrato del diametro. La retta di regressione ricavata

è  $Q=4,07 \cdot D-112,457$ , dove Q è la portata di fuso espressa in kg/h mentre D è il diametro del tubo espresso in mm.

Considerando l'analisi effettuata per la pressione del fuso alla fine dell'estrusore, l'indice di correlazione pari a -0,107 indica l'assenza di una relazione lineare tra il parametro pressione e il diametro del tubo, pertanto la retta ricavata con l'analisi di regressione non può essere inserita nel modello previsionale. Come mostra l'andamento del Grafico 4.1.2.c, la pressione ha un comportamento oscillante tra il valore minimo di 233 bar ed il valore massimo di 341 bar per cui, in prima approssimazione, il diametro del tubo sembra non influire sulla pressione alla fine dell'estrusore. Tale fenomeno è giustificabile riflettendo sui sistemi di rilevazione della pressione nell'unità di estrusione; infatti, come indicato in Figura 3.4.2 n, il sensore di rilevamento della pressione è situato in una zona standard della macchina perché la sezione di uscita dall'estrusore rimane costante per tutti i diametri prodotti. La modifica delle aree di passaggio del materiale avviene a valle del punto di rilevamento e quindi non incide sul valore di pressione rilevato. Se si volesse rilevare la pressione del fuso nell'iniettore della filiera di estrusione, occorrerebbe installare un sensore di pressione specifico ed è probabile che il valore ottenuto sia più basso rispetto a quello rilevato all'uscita dell'estrusore perché occorre considerare le perdite di carico; infatti, tanto più si ha una diminuzione della sezione di passaggio nella filiera rispetto all'uscita dell'estrusore, tanto più le perdite di carico faranno abbassare la pressione del fuso nella testa.

Anche per i giri vite l'indice di correlazione non è significativo nell'ottica di una relazione lineare. I giri vite dell'estrusore sono funzione della portata estrusa e del diametro della vite stessa; poiché i dati campionari sono stati rilevati in linee i cui estrusori hanno diametri di vite diversi, il parametro diventa una funzione in due variabili (portata e diametro vite) che non si può chiaramente approssimare ad una retta. Pertanto, i giri vite dell'estrusore non possono essere inseriti tra i parametri stimati dal modello perché esso richiede come unica variabile indipendente il diametro del prodotto.

### 7.1.2 Coestrusore

<b>PARAMETRI MACCHINA: COESTRUSORE</b>			
<b>diametro (mm)</b>	<b>portata (kg/h)</b>	<b>pressione (bar)</b>	<b>g vite (1/min)</b>
40	19,4	339	22,2
63	45,4	348	50,9
90	63	265	74,7
110	108	354	124,1
125	97,9	271	115
160	138	325	170,7
<b>d medio</b>	<b>Q media</b>	<b>p media</b>	<b>g vite medi</b>
98	78,61666667	317	92,93

Tabella 7.2.2 a : Sintesi dati corrugatore

Analogamente all'estrusore, si sono calcolate e commentate le relazioni per quanto riguarda i parametri del coestrusore ossia portata, pressione del fuso e giri vite.

1) RETTA PORTATA			
d-dmedia	Q-Qmedia	(d-dmedia)*(Q-Qmedia)	(d-dmedia)^2
-58	-59,2167	3434,5686	3364
-35	-33,2167	1162,5845	1225
-8	-15,6167	124,9336	64
12	29,3833	352,5996	144
27	19,2833	520,6491	729
62	59,3833	3681,7646	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		9277,1	9370
<b>Q=0,99009*D-18,4117</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice di correlazione</b>	
0,9900854	-18,4117	0,977367004	

Tabella 7.1.2 b: Procedimento analitico per la stima della retta di portata

2) RETTA PRESSIONE			
d-dmedia	p-pmedia	(d-dmedia)*(p-pmedia)	(d-dmedia)^2
-58	22	-1276	3364
-35	31	-1085	1225
-8	-52	416	64
12	37	444	144
27	-46	-1242	729
62	8	496	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		-2247	9370
<b>P=-0,23981*D+340,501</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice di correlazione</b>	
-0,239807898	340,501174	-0,26457227	

Tabella 7.1.2 c :Procedimento analitico per la stima della retta di pressione

3) RETTA GIRI VITE			
d-dmedia	g-gmedia	(d-dmedia)*(g-gmedia)	(d-dmedia)^2
-58	-70,73	4102,34	3364
-35	-42,03	1471,05	1225
-8	-18,23	145,84	64
12	31,17	374,04	144
27	22,07	595,89	729
62	77,77	4821,74	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		11510,9	9370
<b>G=1,22848*D-27,4582</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice di correlazione</b>	
1,228484525	-27,45815012	0,983870551	

Tabella 7.1.2 d :Procedimento analitico per la stima della retta dei giri vite

L'analisi statistica effettuata per la portata del coestrusore indica una dipendenza lineare diretta, anche se essa è leggermente inferiore a quella riscontrata per la portata dell'estrusore, dato l'indice di correlazione pari a 0,977. La retta di regressione è

$Q=0,99009 \cdot D-18,4117$ . Inoltre, l'indice di correlazione calcolato per la pressione del fuso evidenzia l'assenza di una relazione lineare tra il parametro e il diametro del tubo, pertanto la retta calcolata non ha significato. Essendo il coestrusore un estrusore di dimensioni ridotte, le ragioni dell'andamento costante della pressione del fuso sono le stesse evidenziate per l'estrusore.

I dati riguardanti i giri vite hanno evidenziato una forte relazione diretta con il diametro del tubo. In precedenza, si è accennato che essi sono funzione della portata e del diametro della vite: in questo campione di dati, il diametro della vite è costante in quanto su tutte e tre le linee i coestrusori sono equipaggiati con viti da 45 mm. Quindi, i giri vite diventano funzione solamente della portata estrusa ed essendo essa linearmente dipendente dal diametro al quadrato del tubo, anche i giri vite saranno linearmente dipendenti con il diametro del prodotto. Pertanto, la retta di regressione calcolata  $G=1,22848 \cdot D-27,4582$  ha significato.

### 7.1.3 Corrugatore

Di seguito sono riportate le analisi statistiche che hanno determinato le relazioni per i parametri del corrugatore; si sono calcolati anche gli indici di correlazione per evidenziare il carattere lineare o non lineare della relazione determinata.

<b>PARAMETRI MACCHINA: CORRUGATORE</b>			
<b>diametro (mm)</b>	<b>v (m/min)</b>	<b>tA (°C)</b>	<b>tR (°C)</b>
40	12,18	12	17,9
63	18	12,1	21,8
90	15,3	12,1	21,6
110	19,25	12,9	24,1
125	15	12	24,3
160	15	12,1	31,6
<b>d media</b>	<b>v media</b>	<b>tA media</b>	<b>tR media</b>
98	15,78833333	12,2	23,55

Tabella 7.1.3 a :Sintesi parametri corrugatore

<b>1) RETTA VELOCITA' DI CORRUGAMENTO</b>			
<b>d-dmedia</b>	<b>v-vmedia</b>	<b>(d-dmedia)*(v-vmedia)</b>	<b>(d-dmedia)^2</b>
-58	-3,6083	209,2814	3364
-35	2,2117	-77,4095	1225
-8	-0,4883	3,9064	64
12	3,4617	41,5404	144
27	-0,7883	-21,2841	729
62	-0,7883	-48,8746	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		107,16	9370
<b><math>v=0,011436 \cdot D+14,6676</math></b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice correlazione</b>	
0,0114365	14,66755639	0,197634857	

Tabella 7.1.3 b: Procedimento analitico stima retta di velocità

2) RETTA TEMPERATURA DI ANDATA AL CORRUGATORE			
d-dmedia	tA-tAmedia	(d-dmedia)*(tA-tAmedia)	(d-dmedia)^2
-58	-0,2	11,6	3364
-35	-0,1	3,5	1225
-8	-0,1	0,8	64
12	0,7	8,4	144
27	-0,2	-5,4	729
62	-0,1	-6,2	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		12,7	9370
<b>tA=0,00136*D+12.067172</b>			
b1	b0	indice correlazione	
0,00135539	12,06717182	0,169378507	

Tabella 7.1.3 c: Procedimento analitico stima temperatura di andata

3) RETTA TEMPERATURA DI RITORNO AL GRUPPO FRIGO			
d-dmedia	tR-tRmedia	(d-dmedia)*(tR-tRmedia)	(d-dmedia)^2
-58	-5,65	327,7	3364
-35	-1,75	61,25	1225
-8	-1,95	15,6	64
12	0,55	6,6	144
27	0,75	20,25	729
62	8,05	499,1	3844
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		930,5	9370
<b>tR=0,09931*D+13,817983</b>			
b1	b0	indice correlazione	
0,0993063	13,81798292	0,940550168	

Tabella 7.1.3 d: Procedimento analitico stima della retta della temperature di ritorno

L'indice di correlazione ricavato nell'analisi della velocità del corrugatore è pari a 0,2, pertanto non esiste una relazione lineare con il diametro del tubo. Tramite la definizione della linea di tendenza evidenziata nel Grafico 7.1.3, si è allora ricavata una relazione di secondo grado per esprimere la velocità di corrugamento funzione del diametro del tubo. La relazione calcolata è  $v(\text{m/min}) = -0,6304(D/100)^2 + 4,6711(D/100) + 9$  dove 100 è il fattore di correzione dei millimetri in metri. La velocità di corrugamento presenta valori inferiori a 15 m/min per il

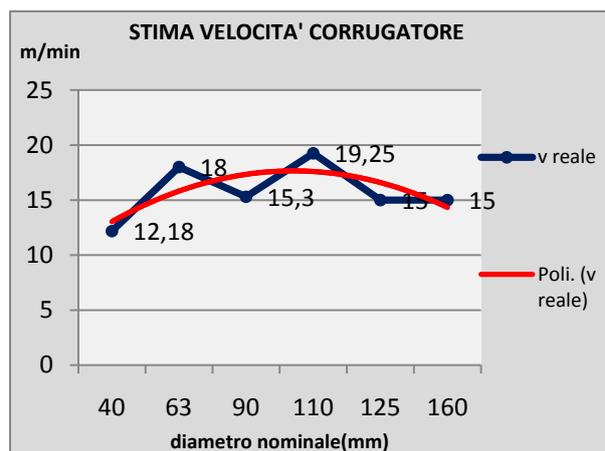


Grafico 7.1.3 : Relazione tra la velocità del corrugatore e il diametro

diametro 40 mm perché le sollecitazioni meccaniche dovute alla chiusura degli stampi, alle vibrazioni e allo stiro da parte dell'avvolgitore non devono determinare la rottura del tubo; infatti, se la velocità di corrugamento raggiungesse valori troppo elevati la struttura del

prodotto potrebbe non avere la resistenza meccanica sufficiente per opporsi agli sforzi accennati sopra perché la massa di materiale è in quantità insufficiente. Invece, per diametri grandi per esempio il 160 mm non esiste tale problema perché le dimensioni del tubo garantiscono una quantità di massa che resiste molto bene alle sollecitazioni meccaniche lungo la linea. La ragione per cui la velocità assume valori comunque relativamente bassi (15 m/min) è da ricercare nei limiti prestazionali della macchina: per diametri grandi le portate in gioco costringono l'unità di estrusione a lavorare vicino alle prestazioni massime per cui, aumentando ulteriormente la velocità di produzione, si porterebbe le macchine a lavorare in condizioni non sostenibili dal punto di vista tecnico. I diametri medi ad esempio il 110 mm prevedono una portata di massa dell'unità di estrusione che è sostenibile dalle macchine per cui ha senso l'aumento della velocità di produzione, anche perché il tubo è strutturalmente più resistente alle sollecitazioni impresse dalle varie stazioni di linea. Riguardo alla temperatura di andata dell'acqua di raffreddamento (dal circuito frigorifero al corrugatore), emerge un andamento sostanzialmente costante (come si vede nel Grafico 4.1.1 b) in funzione del diametro del prodotto e l'indice di correlazione di 0,2 calcolato nell'analisi di regressione lo dimostra. Per mantenere costante la temperatura di ritorno al corrugatore è necessaria una regolazione della portata d'acqua fluente nel circuito refrigerante poiché il flusso di calore da asportare aumenta linearmente con il diametro al quadrato, essendo legato alla portata di materiale estruso. Perciò, tanto più aumenta la portata di massa e quindi il flusso di calore, tanto più fluido frigorifero dovrà circolare nell'impianto di circolazione dei liquidi refrigeranti.

L'analisi effettuata per la temperatura di ritorno dell'acqua di raffreddamento ha evidenziato un indice di correlazione pari a 0,941, pertanto la dipendenza lineare diretta del parametro rispetto al diametro è evidente; la retta di regressione trovata è  $tR=0,09931 \cdot D+13,817983$  e può essere considerata valida al fine del modello previsionale finale.

## 7.2 Determinazione equazioni dei parametri dimensionali

I dati contenuti nella tabella 6.1 rappresentano i valori medi dei parametri per ogni diametro, ricavati dai dati effettivi rilevati indicati nelle tabelle del paragrafo 6.2. Per ogni parametro, si è condotta l'analisi statistica per il calcolo della retta di regressione campionaria che approssima l'andamento del rispettivo campione di dati in esame. Inoltre, per determinare la bontà della retta come stima dei dati si è calcolato anche l'indice di correlazione; le tabelle seguenti presentano le procedure analitiche per il calcolo delle rette di regressione.

1)RETTA DIAMETRO ESTERNO			
dn-dnmedia	de-dededia	(dn-dnmedia)*...	(dn-dnmedia)^2
-49,125	-49,94	2453,525795	2413,265625
-39,125	-39,86	1559,558068	1530,765625
-26,125	-26,63	695,685	682,515625
-14,125	-14,22	200,9217045	199,515625
0,875	1,05	0,922727273	0,765625
20,875	21,33	445,2068182	435,765625
35,875	36,45	1307,676364	1287,015625
70,875	71,81	5089,791477	5023,265625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		11753,28795	11572,875
<b>de=1,015589*D-0,159868</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice correlazione</b>	
1,015589294	-0,185986766	0,999995216	

Tabella 7.2 a: Procedimento analitico stima della retta diametro esterno

2)RETTA DIAMETRO INTERNO			
dn-dnmedia	di-dimedia	(dn-dnmedia)*.....	(dn-dnmedia)^2
-49,125	-43,04	2114,563295	2413,265625
-39,125	-34,25	1339,853409	1530,765625
-26,125	-23,07	602,60875	682,515625
-14,125	-13,01	183,7405682	199,515625
0,875	0,56	0,486022727	0,765625
20,875	18,11	378,0652273	435,765625
35,875	32,09	1151,065682	1287,015625
70,875	62,64	4439,352273	5023,265625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		10209,73523	11572,875
<b>di=0,8822*D-2,814</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice correlazione</b>	
0,882212521	-2,814236376	0,999955502	

Tabella 7.2 b: Procedimento analitico stima della retta diametro interno

3)RETTA LARGHEZZA DI COSTA			
dn-dnmedia	A-Amedia	(dn-dnmedia)*(...)	(dn-dnmedia)^2
-49,125	-3,78	185,8711364	2413,265625
-39,125	-3,22	125,8046591	1530,765625
-26,125	-1,43	37,43	682,515625
-14,125	-1,17	16,47488636	199,515625
0,875	-0,28	-0,248181818	0,765625
20,875	2,56	53,40520833	435,765625
35,875	2,29	81,99068182	1287,015625
70,875	5,04	357,1455682	5023,265625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		857,8739583	11572,875
<b>A=0,0743*D+1.72348</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice correlazione</b>	
0,07412799	1,723475	0,986767717	

Tabella 7.2 c: Procedimento analitico stima della retta larghezza costa

4)RETTA ALTEZZA DI COSTA			
dn-dnmedia	B-Bmedia	(dn-dnmedia)*(...)	(dn-dnmedia)^2
-49,125	-3,46	170,0171591	2413,265625
-39,125	-2,80	109,5144318	1530,765625
-26,125	-1,76	46,08885417	682,515625
-14,125	-0,61	8,564886364	199,515625
0,875	0,27	0,239431818	0,765625
20,875	1,57	32,84965909	435,765625
35,875	2,25	80,84920455	1287,015625
70,875	4,50	318,8086364	5023,265625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		766,9322633	11572,875
<b>B=0.06627*D+1,39977</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice correlazione</b>	
0,066269813	1,399772983	0,996750686	

Tabella 7.2 d: Procedimento analitico stima della retta altezza costa

5)RETTA SPESSORE STRATO ESTERNO			
dn-dnmedia	sp1-sp1media	(dn-dnmedia)*(..)	(dn-dnmedia)^2
-49,125	-0,10	4,733863636	2413,265625
-39,125	-0,08	2,952159091	1530,765625
-26,125	-0,07	1,71	682,515625
-14,125	-0,10	1,373977273	199,515625
0,875	-0,04	-0,031022727	0,765625
20,875	0,07	1,499204545	435,765625
35,875	0,08	2,804772727	1287,015625
70,875	0,19	13,20852273	5023,265625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		28,25147727	11572,875
<b>sp1=0,0024412*D+0,298</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice correlazione</b>	
0,002441181	0,298225239	0,953593201	

Tabella 7.2 e: Procedimento analitico stima della retta spessore strato esterno

6)RETTA SPESSORE STRATO INTERNO			
dn-dnmedia	sp2-sp2media	(dn-dnmedia)*(..)	(dn-dnmedia)^2
-49,125	-0,04	1,786363636	2413,265625
-39,125	-0,06	2,311931818	1530,765625
-26,125	-0,11	2,92125	682,515625
-14,125	0,00	0,064204545	199,515625
0,875	0,04	0,037386364	0,765625
20,875	0,05	1,005795455	435,765625
35,875	0,06	2,250340909	1287,015625
70,875	0,08	5,476704545	5023,265625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		15,85397727	11572,875
<b>sp2=0,00136993*D+0,170291748</b>			
b1	b0	indice correlazione	
0,001369926	0,170291748	0,832398003	

Tabella 7.2 f: Procedimento analitico stima della retta spessore strato interno

7)RETTA PESO AL METRO			
dn-dnmedia	P-Pmedia	(dn-dnmedia)*(..)	(dn-dnmedia)^2
-49,125	-226,24	11113,99534	2413,265625
-39,125	-189,15	7400,422614	1530,765625
-26,125	-158,60	4143,49625	682,515625
-14,125	-103,42	1460,820341	199,515625
0,875	-16,42	-14,36829545	0,765625
20,875	77,67	1621,36125	435,765625
35,875	176,94	6347,820341	1287,015625
70,875	439,22	31129,39534	5023,265625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		63202,94318	11572,875
<b>p=5,4613*D-149,409</b>			
b1	b0	indice correlazione	
5,461300082	-149,4088243	0,98838129	

Tabella 7.2 g: Procedimento analitico stima della retta peso al metro

Come mostrano le tabelle soprastanti, tutti i parametri dimensionali presentano una relazione diretta marcata con il diametro del prodotto; le rette di regressione calcolate approssimano bene i dati in quanto tutti gli indici di correlazione sono molto vicini al valore unitario.

Pertanto, le relazioni lineari riassunte sotto hanno un significato coerente con i dati rilevati.

$$de(mm)=1,015589*D-0,159868$$

$$sp1(mm)=0,0024412*D+0,298$$

$$di(mm)=0,8822*D-2,814$$

$$sp2(mm)=0,00136993*D+0,170291748$$

$$A(mm)=0,0743*D+1,72348$$

$$B(mm)=0,06627*D+1,39977$$

$$p(g/m)=5,4613*D-149,409$$

Tutte queste relazioni dipendono linearmente dalla variabile D, ossia il diametro del tubo da produrre espresso in millimetri (mm).

### 7.3 Determinazione equazioni del consumo energetico e del costo di produzione specifici

Al paragrafo 5.2 a si sono descritti tutti i parametri riguardanti il consumo energetico e al costo di produzione, forniti dall'Ufficio di Produzione. Poiché il modello previsionale riceve come input il solo valore del diametro, nella seguente trattazione sono esclusi il costo di produzione totale (cpt) e il consumo energetico totale (cet) perché essi sono funzione non solo del diametro ma anche della quantità prodotta; considerare anch'essi nel modello finale significherebbe stimare anche il tonnellaggio previsto per ogni diametro e ciò implica delle analisi commerciali e di mercato che esulano dall'obiettivo del presente elaborato.

Pertanto, si sono analizzati i dati riguardanti il **consumo energetico specifico (ces)** ed il **costo di produzione specifico (cps)**, determinando la retta di regressione corrispondente e l'indice di correlazione per la verifica della bontà della relazione.

Come si è già accennato, i dati su questi parametri sono stati forniti anche in funzione della linea di produzione per cui la trattazione seguente è stata classificata in base alle tre linee di produzione che caratterizzano il reparto.

#### 7.3.1 Linea 1

LINEA	d(mm)	cps(euro/ton)	ces (kWh/ton)
1	110	76,82	6285,273208
1	125	70,02	5728,908953
1	140	67,62	5532,551935
1	160	56,52	4624,363751
	<b>media</b>	<b>media</b>	<b>media</b>
	133,75	67,745	5542,774462

Tabella 7.3.1 a: Sintesi consumi energetici e costi di produzione linea 1

1) RETTA COSTO DI PRODUZIONE SPECIFICO			
d-dmedia	cps-media	(d-dmedia)*...	(d-dmedia)^2
-23,75	9,075	-215,53125	564,0625
-8,75	2,275	-19,90625	76,5625
6,25	-0,125	-0,78125	39,0625
26,25	-11,225	-294,65625	689,0625
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		-530,875	1368,75
<b>cps=-0,3878*D+119,6205</b>			
<b>b1</b>	<b>b0</b>	<b>indice correlazione</b>	
-0,387853881	119,6204566	-0,981935502	

Tabella 7.3.1 b: Procedimento analitico stima costo di produzione specifico

2)RETTA CONSUMO ENERGETICO SPECIFICO			
d-dmedia	cnes-media	(d-dmedia)*.....	(d-dmedia)^2
-23,75	742,5032079	-17634,45119	564,0625
-8,75	186,138953	-1628,715839	76,5625
6,25	-10,21806523	-63,86290767	39,0625
26,25	-918,406249	-24108,16404	689,0625
		somma	somma
		-43435,19397	1368,75
<b>ces=-31,7334*D+9787,127</b>			
b1	b0	indice correlazione	
-31,73347505	9787,126749	-0,981934639	

Tabella 7.3.1 c: Procedimento analitico stima consumo energetico specifico

### 7.3.2 Linea 2

LINEA	d(mm)	cps(euro/ton)	ces (kWh/ton)
2	63	127,69	10447,36417
2	75	106,73	8732,453306
2	90	79,08	6470,18154
2	110	69,89	5718,272977
	media	media	media
	84,5	95,8475	7842,067998

Tabella 7.3.2 a: Sintesi consumi energetici e costi di produzione linea 2

1)RETTA COSTO DI PRODUZIONE SPECIFICO			
d-dmedia	cps-media	(d-dmedia)*....	(d-dmedia)^2
-21,5	31,8425	-684,61375	462,25
-9,5	10,8825	-103,38375	90,25
5,5	-16,7675	-92,22125	30,25
25,5	-25,9575	-661,91625	650,25
		somma	somma
		-1542,135	1233
<b>cps=-1,25071776*D+218,4178</b>			
b1	b0	indice correlazione	
-1,250717762	201,5331509	-0,961273374	

Tabella 7.3.2 a: Procedimento analitico stima costo di produzione specifico

2)RETTA CONSUMO ENERGETICO SPECIFICO			
d-dmedia	ces-media	(d-dmedia)*.....	(d-dmedia)^2
-21,5	2605,29617	-56013,86765	462,25
-9,5	890,3853078	-8458,660424	90,25
5,5	-1371,886458	-7545,375518	30,25
25,5	-2123,795021	-54156,77303	650,25
		somma	somma
		-126174,6766	1233
<b>ces=-102,331449*D+16489,07544</b>			
b1	b0	indice correlazione	
-102,331449	16489,07544	-0,961273326	

Tabella 7.3.2 b: Procedimento analitico stima costo di produzione specifico

### 7.3.3 Linea 3

LINEA	d(mm)	cps(euro/ton)	ces (kWh/ton)
3	40	313,46	25646,72955
3	50	159,48	13048,36303
3	63	116,79	9555,543576
	<b>media</b>	<b>media</b>	<b>media</b>
	51	196,5767	16083,54539

Tabella 7.3.3 a: Sintesi consumi energetici e costi di produzione specifici linea 3

1) RETTA COSTO DI PRODUZIONE SPECIFICO			
d-dmedia	cps-media	(d-dmedia)*....	(d-dmedia)^2
-11	116,883	-1285,713	121
-1	-37,097	37,097	1
12	-79,787	-957,444	144
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		-2206,06	266
<b>cps=-8,29345865*D+619,54</b>			
b1	b0	indice correlazione	
-8,293458647	619,5430576	-0,924551647	

Tabella 7.3.3 b: Procedimento analitico stima costo di produzione specifico

2) RETTA CONSUMO ENERGETICO SPECIFICO			
d-dmedia	ces-media	(d-dmedia)*.....	(d-dmedia)^2
-11	9563,184163	-105195,0258	121
-1	-3035,182356	3035,182356	1
12	-6528,001814	-78336,02177	144
		<b>somma</b>	<b>somma</b>
		-180495,8652	266
<b>ces=-678,555884*D+50689,9</b>			
b1	b0	indice correlazione	
-678,5558842	50689,89548	-0,924551656	

Tabella 7.3.3 c: Procedimento analitico stima costo di produzione specifico

Considerando le tre linee, le rette ricavate indicano una relazione lineare inversa tra i parametri analizzati e il diametro del prodotto comune a tutte e tre le linee anche se con pendenze diverse; gli indici di correlazione tutti tendenti a -1 dimostrano che le rette di regressione hanno un significato realistico.

#### LINEA 1

$$\text{cps(euro/ton)} = -0,3878 \cdot D + 119,6205$$

$$\text{ces(kwh/ton)} = -31,7334 \cdot D + 9787,127$$

#### LINEA 2

$$\text{cps(euro/ton)} = -1,25071776 \cdot D + 218,4178$$

$$\text{ces(kwh/ton)} = -102,331449 \cdot D + 16489,07544$$

#### LINEA 3

$$\text{cps(euro/ton)} = -8,29345865 \cdot D + 619,54$$

$$\text{ces(kwh/ton)} = -678,555884 \cdot D + 50689,9$$

In conclusione, in questo capitolo si è cercato di dare una giustificazione analitica degli andamenti descritti graficamente ai capitoli 4,5 e 6 cercando di ottenere delle relazioni matematiche tra i parametri e il diametro del tubo; inoltre, si è tentato di spiegare dal punto di vista ingegneristico alcuni andamenti non riconducibili ad una relazione lineare come nel caso della pressione del fuso, dei giri vite all'estrusore o della velocità di corrugamento.

In tal modo, il lettore è consapevole dei motivi per cui alcuni parametri nel modello presentano un andamento compreso in un *range* o non sono stati considerati nel modello finale.

# CAPITOLO 8

## ELABORAZIONE E VERIFICA DEL MODELLO PREVISIONALE

Riassumendo il lavoro fin qui svolto, i capitoli 4, 5 e 6 hanno presentato i dati rilevati descrivendo il loro andamento in modo qualitativo grazie all'ausilio dei grafici. Il capitolo sette ha consentito di dimostrare analiticamente gli andamenti considerati nei capitoli precedenti, in particolare calcolando le relazioni tra il generico parametro e il diametro del prodotto; laddove tale relazione non fosse presente o fosse diversa da quella lineare diretta, si è cercato di motivarne le ragioni, in modo tale da rendere il modello previsionale maggiormente comprensibile. Il capitolo otto prevede la presentazione del modello previsionale e delle sue applicazioni in base ai diametri ipoteticamente considerati dall'azienda come oggetto di nuove produzioni.

### **8.1 Scelta dei nuovi diametri da produrre**

Il modello previsionale prevede di determinare il diametro del tubo che s'intende produrre; in questo caso, per verificare l'applicazione del modello, si sono scelti 3 diametri di prodotto vicini a quelli prodotti attualmente dall'azienda in modo tale da essere verosimili. Inoltre, è necessario precisare che i diametri scelti non sono frutto di analisi del mercato dell'edilizia per cui è possibile che i diametri richiesti in futuro siano diversi da quelli considerati in questa sede, pertanto i valori di input scelti si sono ricavati unicamente cercando di determinare una produzione realistica per gli impianti considerati.

I diametri selezionati per le applicazioni del modello previsionale sono:

-diametro piccolo: **55 mm**

-diametro medio: **120 mm**

-diametro grande: **150 mm**

Come facilmente si nota, valori appena evidenziati si collocano in un intorno di  $\pm 10$  mm rispetto ai diametri di 45, 110 e 160 mm facenti parte della gamma produttiva per il tubo corrugato. Non avrebbe avuto senso scegliere diametri eccessivamente piccoli (ad esempio

20 mm) o troppo grandi ( ad esempio 400 mm) in quanto inadeguati al tipo di linea produttiva rappresentata e descritta al capitolo tre.

## 8.2 Il Modello previsionale

RELAZIONI DEL MODELLO	
<b>PARAMETRI MACCHINA</b>	
<b>ESTRUSORE</b> $Q=4,07*D-112,457$ 233 bar <math>p<341\text{ bar}</math>	<b>COESTRUSORE</b> $Q=0,99009*D-18,4117$ 265 bar <math>p<354\text{ bar}</math> $G=1,22848*D-27,4582$
<b>CORRUGATORE</b> $v=-0,6304*(D/100)^2+4,6711*(D/100)+9$ $12^{\circ}\text{C}<tA<13^{\circ}\text{C}$ $tR=0,09931*D+13,817983$	
<b>CONSUMI ENERGETICI</b>	
<b>LINEA 1</b> $cps=-0,3878*D+119,6205$ $ces=-31,7334*D+9787,127$	<b>LINEA 2</b> $cps=-1,25071776*D+218,4178$ $ces=-102,331449*D+16489,07544$
<b>LINEA 3</b> $cps=-8,29345865*D+619,54$ $ces=-678,555884*D+50689,9$	
<b>PARAMETRI DIMENSIONALI</b>	
$de=1,015589*D-0,159868$ $di=0,8822*D-2,814$ $A=0,0743*D+1.72348$ $B=0,06627*D+1,39977$	$sp1=0,0024412*D+0,298$ $sp2=0,00136993*D+0,170291748$ $p=5,4613*D-149,409$

Tabella 8.2 : Sintesi relazioni ottenute al capitolo 7

La tabella 8.2 sintetizza le relazioni dirette e inverse o costanti ricavate nel capitolo 7; la presenza, l'assenza o la costanza di tali relazioni sono state ricavate mediante la determinazione delle rette di regressione lineare ed gli indici di correlazione, utili soprattutto per evidenziare la bontà della relazione tra il parametro e il diametro del prodotto.

Osservando le relazioni scritte sopra, si può notare che la maggior parte dei parametri analizzati (circa l'81% su 21 totali) sono regolati da una relazione lineare inversa o diretta rispetto al diametro del tubo. Invece, il 14% dei parametri, ossia le pressioni all'estrusore e al coestrusore e la temperatura di andata al corrugatore, presenta la variazione dei valori in un *range* ben definito rispetto al diametro del tubo mentre il rimanente 5% ( la velocità del corrugatore) assume una relazione non lineare, rappresentata da un polinomio di secondo grado.

Le relazioni riassunte in precedenza sono state inserite in un foglio Excel per costituire il modello previsionale; ogni parametro considerato è indicato a sinistra con la rispettiva unità di misura ed a fianco è indicato il valore in relazione al diametro del tubo. Tale valore è l'output della relazione trovata per il determinato parametro, oppure, nel caso di parametri costanti al variare del diametro del tubo, si è indicato l'intervallo di variazione riscontrato.

Le celle contenenti i valori o gli intervalli dei parametri sono colorate in modo diverso per far capire visivamente all'utente la tipologia di relazione esistente tra il parametro e il diametro inserito. In particolare, le celle colorate con il verde scuro evidenziano la presenza di una relazione lineare diretta; le celle colorate in verde chiaro evidenziano la presenza di una relazione lineare inversa mentre il colore viola indica che il parametro oscilla in un intervallo per cui la relazione con il diametro si può considerare costante. Infine, la cella colorata di rosa si riferisce a una relazione polinomiale di secondo grado.

La figura sottostante rappresenta il *layout* del foglio Excel che costituisce il modello cercato:

DIAMETRO					
-					
PARAMETRI DI MACCINA					
ESTRUSORE		COESTRUSORE		CORRUGATORE	
Q(kg/h)	-	Q(kg/h)	-	v(m/min)	-
P(bar)	233<P<341	P(bar)	265<P<354	tA(°C)	12<tA<13
		G(1/min)	-	tR(°C)	-
Qtot(kg/h)	-				
CONSUMO ENERGETICO E COSTI DI PRODUZIONE SPECIFICI					
LINEA 1		LINEA 3		LINEA 2	
cps(euro/ton)	-	cps(euro/ton)	-	cps(euro/ton)	-
ces(kwh/ton)	-	ces(kwh/ton)	-	ces(kwh/ton)	-
PARAMETRI DIMENSIONALI DEL TUBO					
de(mm)	-	A(mm)	-	sp1(mm)	-
di(mm)	-	B(mm)	-	sp2(mm)	-
p(g/m)	-				

Figura 8.2: Modello previsionale su foglio Excel

I parametri stimati dal modello possono essere utili per considerazioni tecniche o gestionali riguardo alle nuove produzioni:

1) I parametri macchina, in particolare i giri vite del coestrusore e la portata di massa totale in linea, possono aiutare a stimare le prestazioni richieste dal nuovo diametro; ad esempio, il coestrusore presenta dei giri vite massimi di 200 giri/min per cui è interessante verificare se i giri vite richiesti dal nuovo diametro siano compatibili con il numero massimo consentito. Inoltre, la velocità del corrugatore e quindi la velocità di produzione può essere utile per determinare le tonnellate prodotte per un certo intervallo di tempo secondo l'equazione 3.1. Infine, le temperature di andata/ritorno del liquido di raffreddamento possono essere

utilizzate per stimare il calore che l'impianto frigorifero esterno deve asportare secondo l'equazione:

$$C=c_p\dot{m}(tR-tA) \quad (8.2)$$

dove **C** è la potenzialità frigorifera del gruppo frigo espressa in kcal/h, **c<sub>p</sub>** è il calore specifico del materiale in kcal/kg, **tR** e **tA** sono rispettivamente la temperatura dell'acqua di ritorno al gruppo frigo e la temperatura di andata dell'acqua dal gruppo frigo, espresse entrambe in °C.

2) I consumi energetici e i costi di produzione specifici si possono utilizzare per ottimizzare il caricamento degli ordini di produzione sulle linee; in condizioni stazionarie della domanda, è preferibile collocare gli ordini di produzione nella linea che presenta il costo di produzione più basso. Tuttavia, occorre considerare la portata totale richiesta dal diametro in modo tale da collocare la produzione nella linea il cui coefficiente di utilizzo, espresso come portata richiesta diviso la portata massima offerta, sia tendente ad 1. Inoltre, se i parametri considerati assumono valori negativi occorre non considerare la linea corrispondente per la produzione del diametro scelto.

3) I parametri dimensionali consentono di stimare le caratteristiche reali del prodotto, per quanto riguarda l'ingombro effettivo e lo spessore dei due strati; inoltre, la larghezza di costa (A) e l'altezza di costa (B) possono essere utilizzati come dati di partenza per la progettazione degli stampi del corrugatore, la cui superficie sagomata interna deve essere appositamente dimensionata in base al diametro da produrre. Il peso al metro, oltre ad essere una specifica del tubo, costituisce un altro parametro che contribuisce al calcolo del tonnellaggio prodotto per un certo periodo, indicato precedentemente nell'equazione 3.1.

### 8.3 Applicazioni del modello ai nuovi diametri prodotti

Il modello descritto al paragrafo 8.2 è stato verificato per i diametri scelti al paragrafo 8.1 e i risultati sono esemplificati alle figure 8.2 a/b/c.

Prima di commentare i valori ottenuti in base ai diametri prodotti, è opportuno specificare che ci possono essere delle differenze significative tra i valori stimati dal modello e quelli realmente presenti sulle linee; infatti, l'analisi condotta ha l'obiettivo di **stimare** e non **determinare** i valori dei parametri in relazione al diametro del tubo. La determinazione esatta non è tecnicamente possibile perché essa è funzione anche del **know-how** aziendale, che non può essere riconducibile a relazioni matematiche di un modello previsionale.

DIAMETRO					
55					
<b>PARAMETRI DI MACCINA</b>					
<b>ESTRUSORE</b>		<b>COESTRUSORE</b>		<b>CORRRUGATORE</b>	
Q(kg/h)	111,39	Q(kq/h)	36,04	v(m/min)	11,38
P(bar)	233<P<341	P(bar)	265<P<354	tA(°C)	12<tA<13
		G(1/min)	40,11	tR(°C)	19,28
Qtot(kg/h)	147,44				
<b>CONSUMO ENERGETICO E COSTI DI PRODUZIONE</b>					
<b>LINEA 1</b>		<b>LINEA 3</b>		<b>LINEA 2</b>	
cps(euro/ton)	98,29	cps(euro/ton)	163,40	cps(euro/ton)	149,63
ces(kwh/ton)	8041,79	ces(kwh/ton)	13369,33	ces(kwh/ton)	10860,85
<b>PARAMETRI DIMENSIONALI DEL TUBO</b>					
de(mm)	55,70	A(mm)	5,81	sp1(mm)	0,43
di(mm)	45,71	B(mm)	5,04	sp2(mm)	0,25
p(g/m)	150,96				

Figura 8.3 a :Applicazione del modello previsionale per il diametro 55mm

DIAMETRO					
120					
<b>PARAMETRI DI MACCINA</b>					
<b>ESTRUSORE</b>		<b>COESTRUSORE</b>		<b>CORRRUGATORE</b>	
Q(kg/h)	375,94	Q(kq/h)	100,40	v(m/min)	13,70
P(bar)	233<P<341	P(bar)	265<P<354	tA(°C)	12<tA<13
		G(1/min)	119,96	tR(°C)	25,74
Qtot(kg/h)	476,34				
<b>CONSUMO ENERGETICO E COSTI DI PRODUZIONE</b>					
<b>LINEA 1</b>		<b>LINEA 3</b>		<b>LINEA 2</b>	
cps(euro/ton)	73,08	cps(euro/ton)	-375,68	cps(euro/ton)	68,33
ces(kwh/ton)	5979,12	ces(kwh/ton)	-30736,81	ces(kwh/ton)	4209,30
<b>PARAMETRI DIMENSIONALI DEL TUBO</b>					
de(mm)	121,71	A(mm)	10,64	sp1(mm)	0,59
di(mm)	103,05	B(mm)	9,35	sp2(mm)	0,33
p(g/m)	505,95				

Figura 8.3 b :Applicazione del modello previsionale per il diametro 120 mm

DIAMETRO					
150					
PARAMETRI DI MACCINA					
ESTRUSORE		COESTRUSORE		CORRUGATORE	
Q(kg/h)	498,04	Q(kq/h)	130,10	v(m/min)	14,59
P(bar)	233<P<341	P(bar)	265<P<354	tA(°C)	12<tA<13
		G(1/min)	156,81	tR(°C)	28,71
Qtot(kg/h)	628,14				
CONSUMO ENERGETICO E COSTI DI PRODUZIONE					
LINEA 1		LINEA 3		LINEA 2	
cps(euro/ton)	61,45	cps(euro/ton)	-624,48	cps(euro/ton)	30,81
ces(kwh/ton)	5027,12	ces(kwh/ton)	-51093,48	ces(kwh/ton)	1139,36
PARAMETRI DIMENSIONALI DEL TUBO					
de(mm)	152,18	A(mm)	12,87	sp1(mm)	0,66
di(mm)	129,52	B(mm)	11,34	sp2(mm)	0,38
p(g/m)	669,79				

Figura 8.3 c :Applicazione del modello previsionale per il diametro 150 mm

Ad esempio, considerando lo scenario ottenuto per il diametro 55 mm, si può vedere che i giri vite del coestrusore sono nettamente inferiori a quelli massimi previsti e il valore di portata è coerente con il diametro scelto. Infatti, per il diametro 63 mm si è rilevato sperimentalmente un valore di portata totale pari a 197,3 kg/h per cui essendo il diametro testato inferiore a 63 mm, anche la portata totale deve essere inferiore a quella riscontrata per il 63 mm. Riflettendo sui parametri seguenti nel modello, il costo di produzione specifico presenta il valore minimo alla linea uno, quindi apparentemente la linea uno sembra l'alternativa produttiva economicamente più conveniente. Tuttavia, osservando la portata totale richiesta dal diametro essa è ben lontana da quella massima di linea. Se si considera in prima approssimazione come portata massima quella relativa al diametro 160 mm, si può notare che il coefficiente di utilizzo è pari a 21,3% mentre utilizzando la linea tre emerge un coefficiente di utilizzo pari a 75%, considerando come portata massima totale quella relativa al diametro 63 mm. Quindi, non esiste una linea in assoluto più conveniente: la scelta dipende dagli aspetti che si vogliono considerare, economici o tecnici. Analizzando poi i parametri dimensionali, si nota la coerenza di tutti i valori indicati in relazione al diametro scelto.

# CONCLUSIONI

L'esperienza di tirocinio effettuato presso l'azienda Faraplan S.p.a ha permesso di studiare il tubo corrugato, attraverso l'interazione con diverse figure aziendali. Le informazioni ottenute riguardano le materie prime coinvolte nel processo, le caratteristiche meccaniche e il sistema di qualità del tubo corrugato, oltre che le procedure di stoccaggio del prodotto finito. Inoltre, grazie al contatto diretto con gli operatori del reparto, si è analizzato il processo produttivo individuando e descrivendo il funzionamento delle stazioni che compongono la linea di estrusione per tubi corrugati, per poi approfondire le principali problematiche di produzione. Inoltre, monitorando quotidianamente le linee di produzione, si sono rilevati i valori dei parametri macchina dell'estrusore, del coestrusore e del corrugatore in base al diametro del tubo prodotto, mentre i valori dei parametri dimensionali rilevati sono stati indicati dall' Ufficio Controllo Qualità, così come i dati relativi ai costi di produzione e ai consumi energetici, forniti dall'Ufficio Produzione. I dati in possesso sono stati analizzati innanzitutto dal punto di vista grafico per elaborare alcune considerazioni introduttive e per chiarire al lettore il significato fisico dei parametri, per poi compiere l'analisi statistica al fine di ricavare le relazioni presenti tra il generico parametro e il diametro del tubo. In alcuni casi, l'analisi grafica e statistica hanno evidenziato un andamento non lineare del parametro, pertanto si è cercato di motivare tale caratteristica attraverso considerazioni tecniche e di processo, acquisite durante l'esperienza in azienda. Le relazioni ottenute sono state implementate in un foglio Excel per costituire il modello previsionale che, dato in input il diametro del prodotto, fornisce i valori dei parametri stimati nel processo produttivo; infine, si sono scelti tre diametri da produrre (55,120,150 mm) per testare l'attendibilità dei valori stimati dal modello, rispetto ai valori rilevati per i diametri già prodotti dall'azienda.

Le eventuali considerazioni gestionali o di verifica devono essere correlate dall'esperienza produttiva perché il presente modello non determina in modo esatto il valore dei parametri, ma si limita a fornire delle stime che non considerano il *know-how* acquisito durante anni di implementazione del processo.

Pertanto, l'errore tra il valore dei parametri stimati dal modello e quelli attuati realmente nelle linee può essere significativo.

La determinazione di un modello previsionale può teoricamente essere estesa alla produzione del tubo rigido in PVC; tuttavia, le problematiche da affrontare in questo caso sono rilevanti. Innanzitutto, l'estrusione del tubo rigido coinvolge ben dodici linee di produzione per cui la mole di dati da elaborare è considerevole; inoltre, si è visto che nel tubo corrugato i parametri previsti non risentono del tipo di prodotto processato: questo non

è valido nel processo produttivo del PVC, in quanto le ricette ( o “mescole”) di materie prime sono in numero considerevole e costituiscono una vera e propria variabile. Sarebbe dunque più difficile ricondurre i valori dei parametri stimati al solo diametro del prodotto, come invece è stato possibile per il reparto del tubo corrugato. Per risolvere tale problema, sarebbe opportuno elaborare un modello previsionale per ogni tipo di miscela, in modo tale che i parametri siano funzione unicamente del diametro del tubo.

In ogni caso, la redazione di un sistema previsionale per il tubo rigido richiederebbe un periodo di studio maggiore e un’attenta selezione delle variabili da considerare.

## **BIBLIOGRAFIA**

-Materiale interno all'azienda: manuali di macchina, schede tecniche, documenti gestionali forniti dal personale,catalogo prodotti.

-“Appunti di: TECNOLOGIE DI TRASFORMAZIONE DEI MATERIALI POLIMERICI- Estrusione ed applicazione dell'estrusione , Stampaggio ad iniezione,Soffiaggio dei corpi cavi” Massimo Messori

## **SITOGRAFIA**

[-www.faraplan.it](http://www.faraplan.it)

[-www.wikipedia.it](http://www.wikipedia.it)

[-www.amut.it](http://www.amut.it)

[-www.epr-italia.com](http://www.epr-italia.com)

## ***Ringraziamenti***

Vorrei ringraziare innanzitutto i miei genitori che mi hanno concesso una seconda possibilità di studio, appoggiandomi e consigliandomi in tutti i momenti. Inoltre, vorrei ringraziare tutti i miei amici per i momenti di serenità e di svago che mi hanno regalato in questi anni di università. Infine, ringrazio il personale dell'azienda Faraplan S.p.a che ha permesso il tirocinio, consentendomi di vivere un'ottima esperienza lavorativa e di apprendimento.