

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria dei Materiali

**Progettazione e Produzione di Profili in Materiale
Termoplastico per Estrusione**

Design and Production of Thermoplastic Profiles by Extrusion

Candidato:
Davide Zulian

Relatore:
Brusatin Giovanna

Correlatore:
Rizzardi Luca

Anno Accademico 2010/2011

SOMMARIO

<i>PREMESSA</i>	<i>pag 1</i>
<i>GUIDA PER MULETTO</i>	<i>pag 3</i>
1 Introduzione	<i>pag 3</i>
2 Progettazione	<i>pag 3</i>
2.1 Dati Tecnici Guida	<i>pag 3</i>
2.1.1 Considerazioni sulla Guida	<i>pag 4</i>
2.1.1.1 Attrito e Usura	<i>pag 4</i>
2.1.1.2 Ritiro	<i>pag 5</i>
2.2 Selezione dei Materiali	<i>pag 5</i>
2.3 Progettazione Filiera	<i>pag 14</i>
2.3.1 Filiera	<i>pag 14</i>
2.3.1.1 Sviluppo	<i>pag 15</i>
2.3.2 Calibri	<i>pag 23</i>
3 Produzione Filiera e Calibratori	<i>pag 26</i>
3.1 Assemblaggio Componenti	<i>pag 27</i>
4 Produzione Profilo (1° parte)	<i>pag 32</i>
4.1 Primo Collaudo	<i>pag 32</i>
4.1.1 Preparazione Estrusore	<i>pag 32</i>
4.1.2 Scelta Estrusore	<i>pag 32</i>
4.1.2.1 Disposizione Spaziale dei Componenti	<i>pag 34</i>
4.1.3 Test per la Selezione del Miglior Materiale	<i>pag 37</i>

4.1.3.1 Polyethylene BL2571	<i>pag 37</i>
4.1.3.2 Polypropylene GB364WG	<i>pag 38</i>
4.1.3.3 Lupolen 5021 DX	<i>pag 39</i>
4.1.4 Produzione	<i>pag 40</i>
4.2 Controllo Qualità	<i>pag 43</i>
4.2.1 Controllo Dimensionale	<i>pag 43</i>
4.2.2 Controllo Visivo	<i>pag 49</i>
4.3 Problematiche	<i>pag 49</i>
5 Produzione Profilo (2° parte)	<i>pag 52</i>
5.1 Secondo Collaudo	<i>pag 52</i>
5.1.2 Preparazione Estrusore e Produzione	<i>pag 52</i>
5.1.2.1 Controllo Termico Superficiale	<i>pag 54</i>
5.2 Controllo Qualità	<i>pag 57</i>
5.2.1 Controllo Dimensionale	<i>pag 57</i>
5.2.2 Controllo Visivo	<i>pag 67</i>
5.3 Considerazioni sulla Produzione	<i>pag 69</i>
CONCLUSIONI	<i>pag 71</i>
BIBLIOGRAFIA	<i>pag 73</i>
RINGRAZIAMENTI	<i>pag 75</i>

PREMESSA

La suddetta tesi si pone come obiettivo quello di esemplificare le principali metodologie di lavoro e analisi che sono state incontrate e sviluppate durante l'attività di tirocinio, svolta presso V.B.N. Tecno di San Biagio di Callalta (Treviso) tra marzo e giugno 2010.

Lo scopo del tirocinio è stato quello di seguire e approfondire la progettazione e la produzione di materiali termoplastici, ponendo particolare attenzione al loro comportamento in fase di estrusione.

Lo stage ha avuto luogo nei locali dell'azienda, garantendomi in tal modo la possibilità di seguire gli spostamenti e le trasformazioni dei prodotti in analisi, passando dall'ufficio tecnico, all'officina, all'area di estrusione sino alla zona adibita alle lavorazioni speciali (che in genere sono le lavorazioni di finitura).

Con il supporto del referente aziendale Rizzardi Luca si è concordato di seguire, in particolare, lo sviluppo di un prodotto: una guida per muletti. Con lo studio di questo elemento si è cercato di apprezzarne il comportamento in fase di produzione e di definire le possibili modifiche al processo, con il fine di garantire una miglior qualità delle produzioni future.

Per ragioni di privacy non è possibile citare l'azienda che ha commissionato il prodotto.

GUIDA PER MULETTO

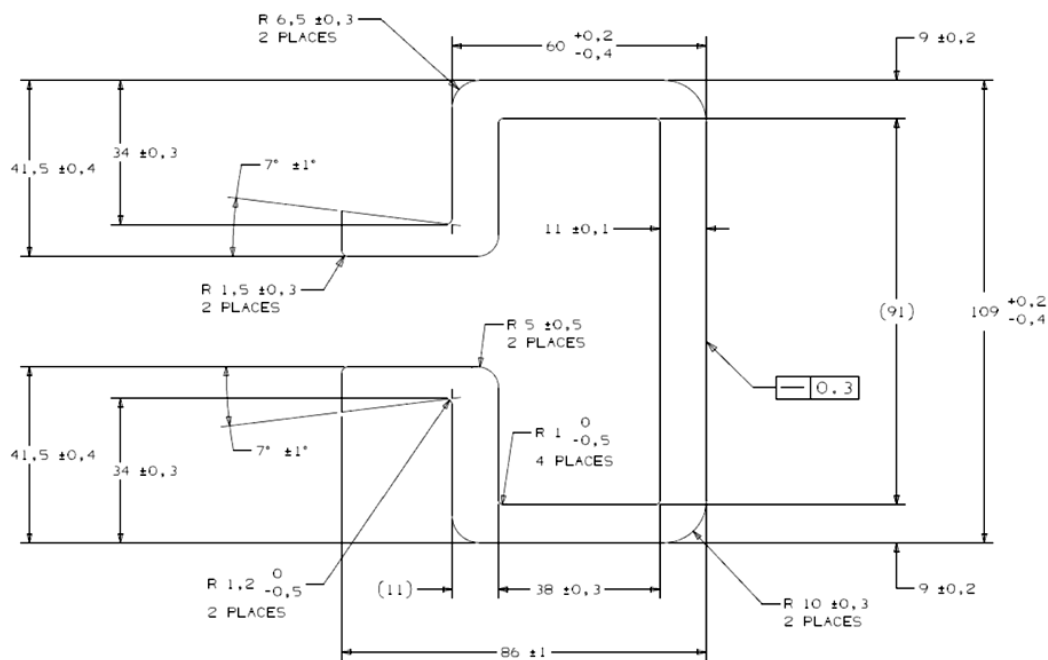
1. Introduzione

Su commissione da parte di un' importante multinazionale, leader nella produzione di attrezzature, forche e accessori per carrelli elevatori, VBN Tecno si è attivata al fine di progettare una guida funzionale alla sostituzione delle corsie in acciaio sfruttate per la movimentazione delle pale dei muletti.

2. Progettazione

2.1 Dati Tecnici Guida

Figura 1 – Progetto



- Guida in materiale termoplastico
- Basso coefficiente d'attrito
- Buona resistenza ad usura
- Colorazione BLU

2.1.1 Considerazioni sulla Guida

A causa delle specifiche tecniche richieste (basso coefficiente d'attrito e buona resistenza ad usura) è doveroso rimarcare l'importanza di alcuni fattori che saranno fondamentali nella fase di produzione e selezione del materiale.

2.1.1.1 Attrito e Usura

Tali fattori sono strettamente collegati con l'attrito , che come noto è una forza dissipativa che si esercita tra due superfici a contatto e si oppone al loro moto relativo, e conseguentemente con l'usura.

Nel nostro caso sia attrito che usura sono controllabili attraverso:

- La rugosità
- La durezza
- L' autolubrificazione

Gli altri parametri che comunque risultano più complessi da controllare sono:

- La temperatura di utilizzo
- La velocità di sfregamento
- La pressione applicata

Rugosità

La rugosità non deve essere eccessiva (in genere è compresa tra 0,5 μm e 2,5 μm); in questo modo si limita la possibilità di un' usura adesiva e si contiene quella abrasiva che porterebbe alla livellazione dei picchi della guida causando anche delle piccolissime deformazioni plastiche , molto probabili considerando la natura della guida.

Durezza

La durezza è un parametro che funge un ruolo molto importante nel limitare l'usura per abrasione, per tale ragione in generale sono stati ricercati materiali con una discreta durezza tale da contenere il divario tra la guida ed il massello in acciaio.

Autolubrificazione

L'autolubrificazione è una proprietà chiave di tutti i polimeri che li rende una valida alternativa a molti materiali; il comportamento viscoelastico permette in particolare di assorbire gli urti e le deformazioni applicate senza modificare la struttura del materiale polimerico.

2.1.1.2 Ritiro

Un'altra problematica che esula dalla tematica della tribologia è il ritiro, ovvero un processo di contrazione volumetrica dovuto al raffreddamento del materiale dallo stato fluido a quello solido (la transizione liquido-solido avviene ad una precisa temperatura detta di fusione).

Il ritiro è un parametro fondamentale da considerare nel processo di estrusione ed è vincolato ad alcuni aspetti :

- Temperatura
- Spessore
- Raccordi

Un eccessivo gradiente termico sulla superficie, in fase di raffreddamento, comporta un accentuato ritardo nella solidificazione con il conseguente ritiro di parte del materiale che genera delle striature più o meno apprezzabili. A questo si somma il fatto che il ritiro è particolarmente sensibile agli spessori in gioco, infatti più questi sono elevati maggiore è il rischio di un rigonfiamento e di striature in prossimità dei lati aventi spessori inferiori, ed ai raggi di raccordo particolarmente ampi (comunque quest'ultimo è un parametro relativo dipendente dalle dimensioni del profilo e dalle condizioni di estrusione e di raffreddamento).

2.2 Selezione dei Materiali

In seguito alla ricezione del progetto cartaceo è iniziata la fase di progettazione con la selezione del materiale da impiegare. Al fine di definire con chiarezza quale resina utilizzare per l'estrusione è stata svolta un'analisi statistica descrittiva mediante il software Minitab e Office.

Sulla base delle richieste economiche avanzate è stato scremato un gruppo di materiali che saranno oggetto dell'analisi in questione.

Tabella 1 - Prodotti

Prodotto	Casa	Caratteristiche Generali
Lupolen 5021 DX	LyondellBasell	HDPE, good chemical resistance, high ESCR, good flowability, organoleptic properties, antioxidant , broad molecular weight
Polyethylene BL2571	BOREALIS	HDPE, high stiffness, high ESCR
Benvic EH 660/9766	BENVIC blends & alloys	PVC, stabilizzato Ca-Zn
Polypropylene GB364WG	BOREALIS	PP, 30% glass fiber, excellent mechanical properties, high heat stabilised, detergent resistance
Makrolon 3208	Bayer Polymers	PC, high viscosity, hydrolysis resistance, high mechanical properties
MAGNUM 3513	Dow Plastic	ABS, excellent processability, stable light base colour, high impact resistance, good heat resistance
MAGNUM 3513 AS	Dow Plastic	ABS, excellent processability, stable light base colour, high impact resistance, good heat resistance, anti-static
Riblene FL34	ENI polimeri europa	LDPE, slip & antiblocking agent , good processability, good mechanical properties, good optical properties , heat shrinkable

Successivamente sono state raccolte le schede tecniche dei materiali e sono stati tabulati i fattori funzionali all'analisi statistica descrittiva:

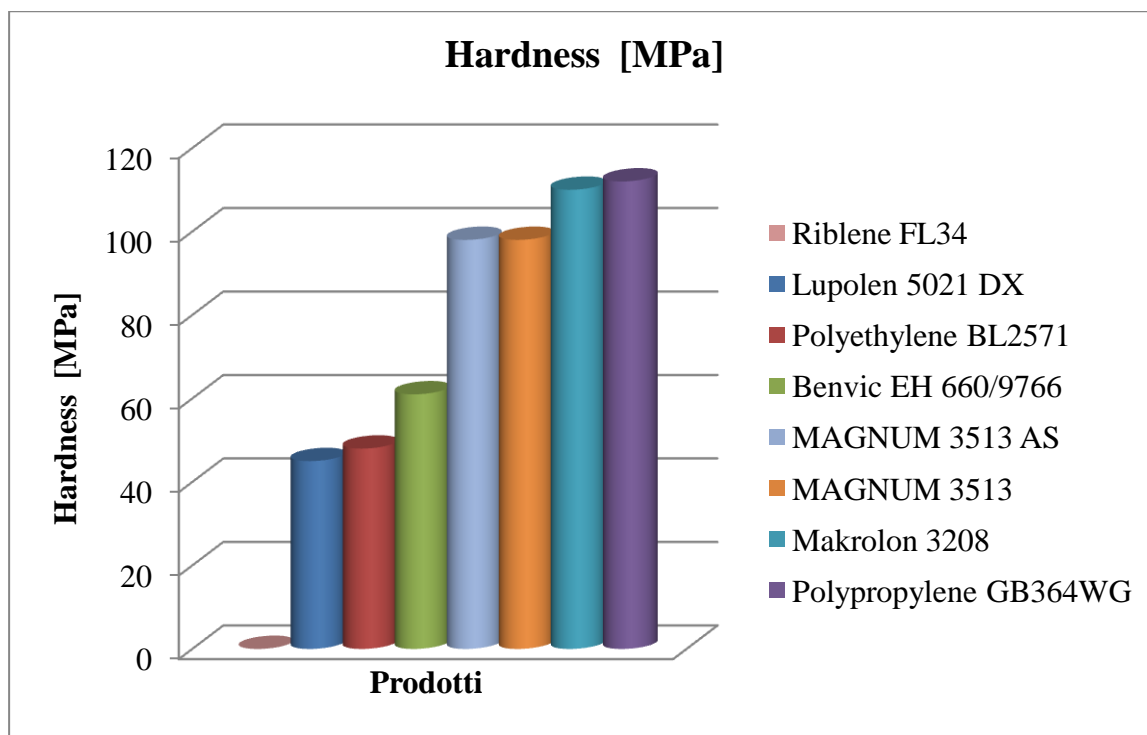
- Hardness (Durezza)
- Coefficient of Friction (Coefficiente d'attrito)
- Wear Resistance (resistenza ad usura)
- Melt Temperature (Temperatura di fusione)

Tabella 2 – Caratteristiche dei Prodotti

Prodotto	Hardness [MPa]	Coefficient of friction (dynamic) ¹	Wear Resistance [1-20] ²	Melt temperature [C°] (MIN -MAX)	
Lupolen 5021 DX	45	0,25	12	170	200
Polyethylene BL2571	66	0,3	13	180	220
Benvic EH 660/9766	82	0,4	10	170	185
Polypropylene GB364WG	112	0,35	14	230	280
Makrolon 3208	110	0,45	18	240	300
MAGNUM 3513	98	0,5	15	165	195
MAGNUM 3513 AS	98	0,5	15	165	195
Riblene FL34	\	0,11	5	160	190

Al fine di facilitare la lettura e la conseguente analisi dei dati sono stati sviluppati una serie di grafici, quali istogrammi, box-plot e matrix-plot.

Grafico 1 - Hardness

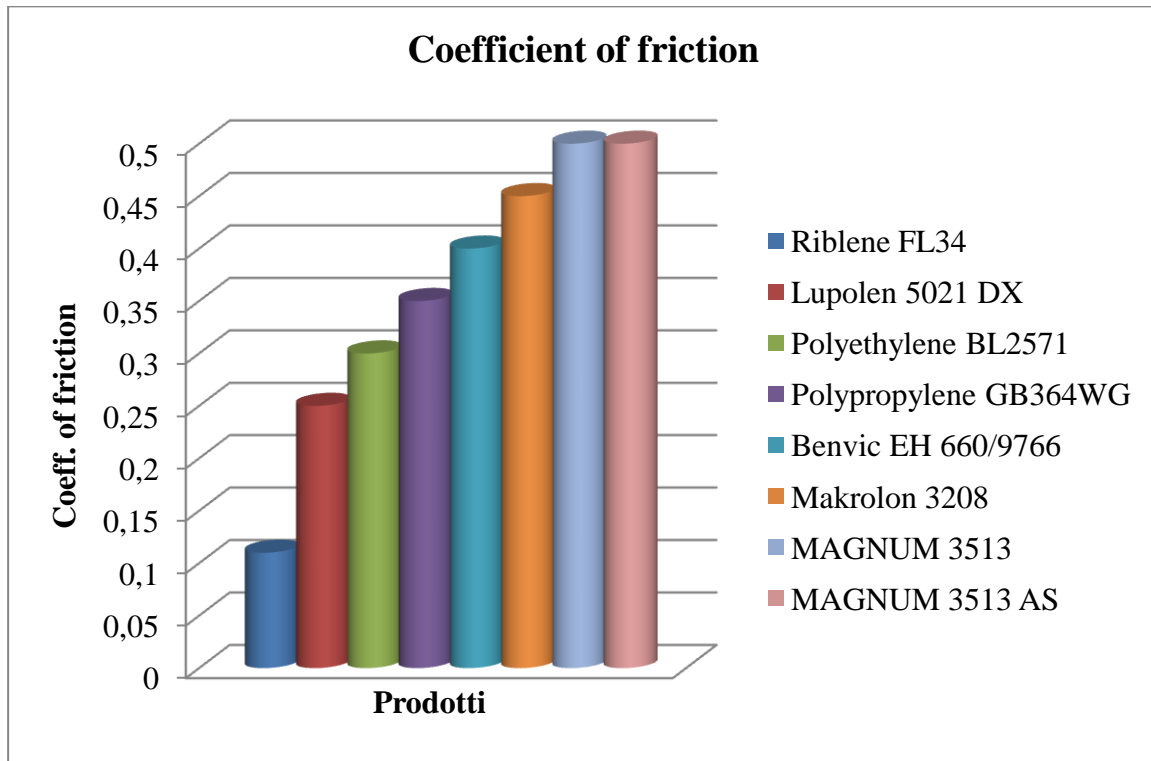


¹ I valori ivi elencati sono stati parzialmente completati da www.dotmar.com.au/co-efficient-of-friction.html

² www.dotmar.com.au/wear-resistance.html

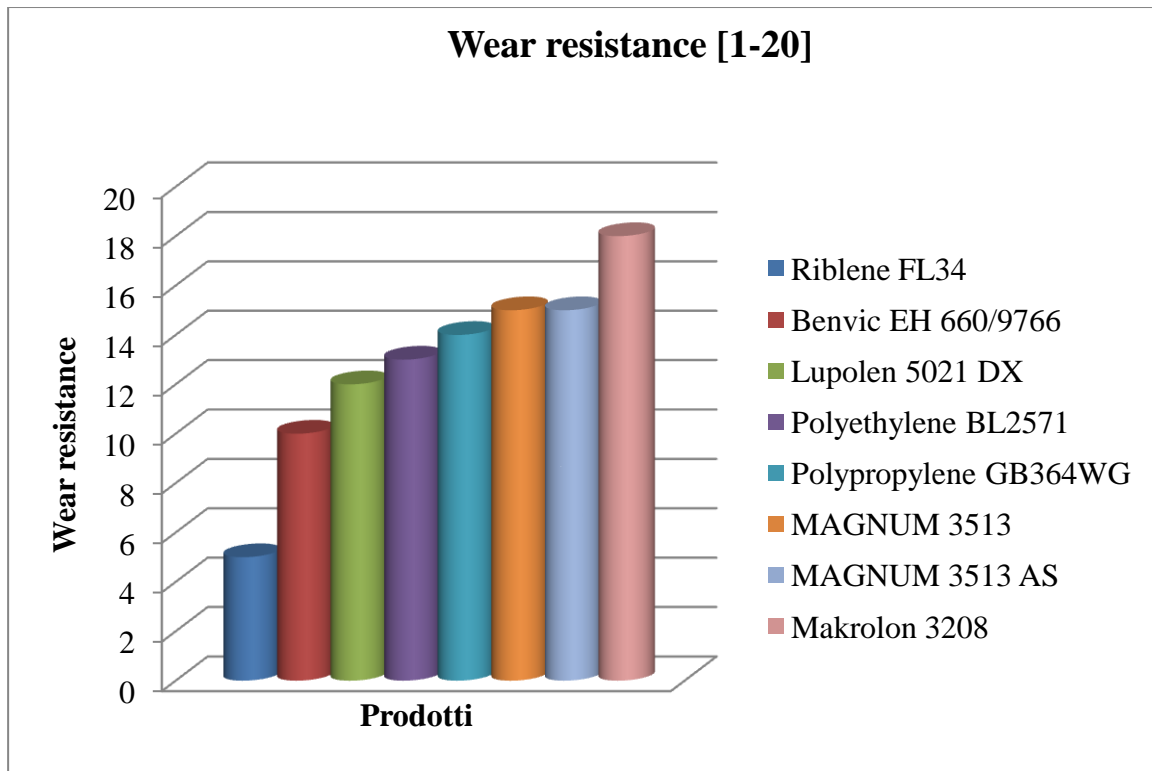
Dal grafico n.1 si evidenzia una particolare predisposizione del polipropilene e del policarbonato a possedere una discreta durezza superficiale (superiore ai 100 MPa); mentre i vari PE presentano i valori più bassi .

Grafico 2 – Coefficient of Friction



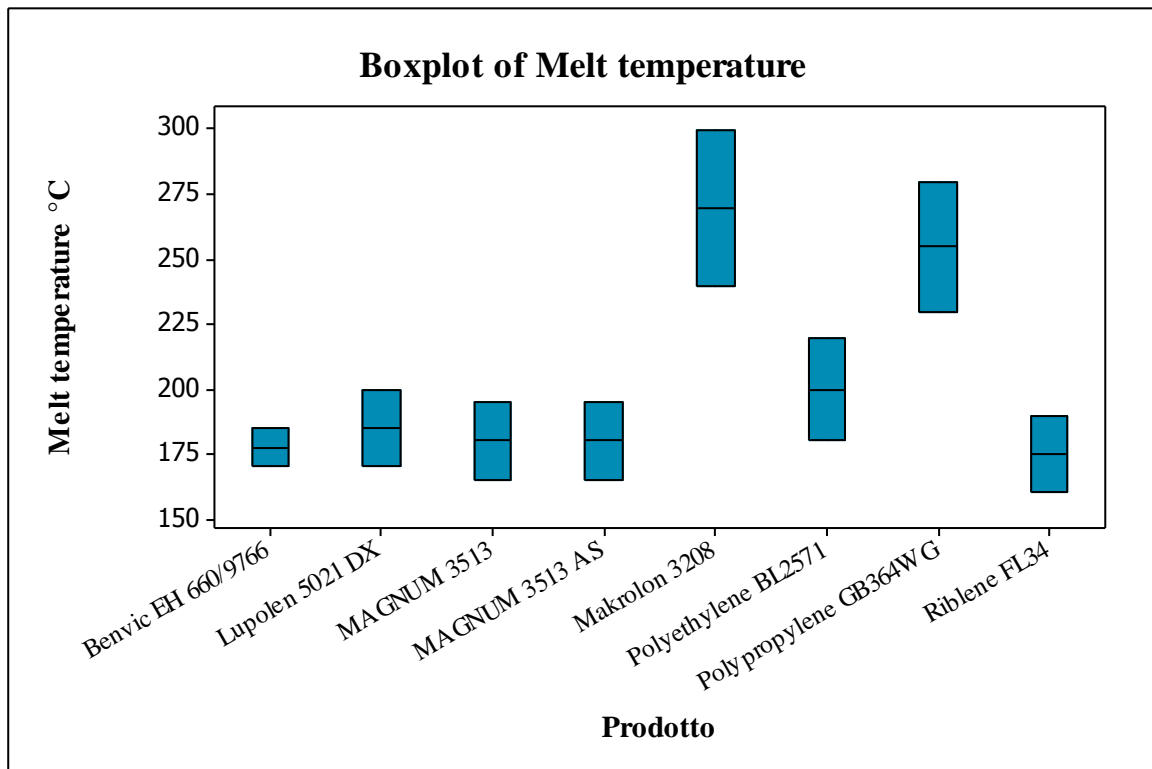
Il seguente grafico invece mostra come la famiglia delle poliolefine presenta dei coefficienti d'attrito minori rispetto agli altri polimeri; nel dettaglio si nota come nell'ordine Polyethylene BL2571, Lupolen 5021 DX e Riblene FL34 presentano dei valori inferiori a 0,35.

Grafico 3 – Wear Resistance



Il seguente istogramma mostra la teorica resistenza all' usura dei materiali presi in esame e si evince che tale fattore non comporta una evidente selezione eccezion fatta per il PC (Makrolon 3208) e per il LDPE (Riblene FL34), che possiedono rispettivamente il valore massimo e minimo.

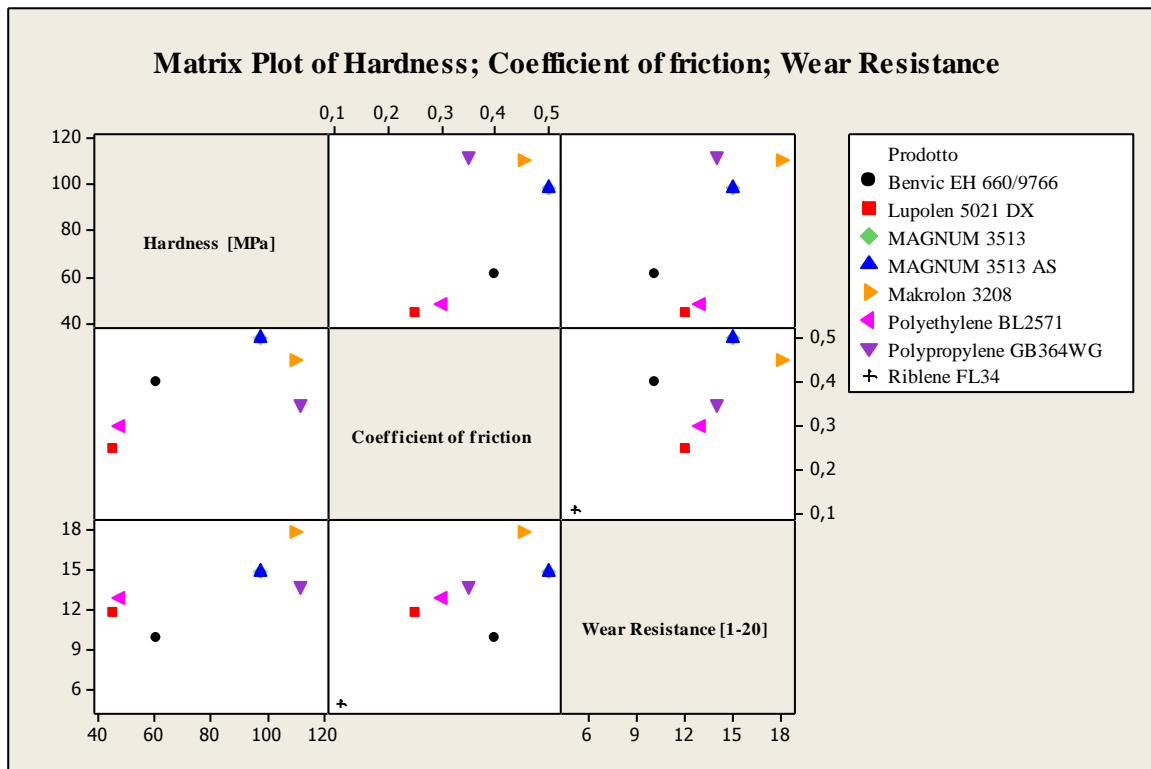
Grafico 4 – Melt Temperature



Il seguente Box-plot definisce per ciascun prodotto l'intervallo di temperatura che questo assume all'interno dell'estrusore in fase di produzione. Tale grafico è estremamente importante in quanto date le dimensioni del profilo da estrudere è necessario controllare la differenza di temperatura ΔT , tra il polimero fuso appena uscito dalla filiera ed il solido a temperatura ambiente; infatti la presenza di un spiccato ΔT potrebbe favorire il fenomeno del ritiro o comunque rendere difficoltoso il raffreddamento.

Perciò sarebbe preferibile selezionare i polimeri con temperature di fusione tendenzialmente basse ove è possibile controllare più agevolmente il raffreddamento. E' evidente che il Makrolon 3208 ed il Polypropylene GB364WG non rispecchiano tali assunzioni, anche se il PP data le sue proprietà chimiche garantirebbe una certa stabilità termica.

Grafico 5 – Matrix Plot



Il matrix-plot in analisi mostra l'interazione tra le proprietà prese in esame (ovvero le nostre variabili) in funzione dei prodotti preselezionati; poiché è di nostro interesse cercare un materiale con un basso coefficiente d'attrito, una discreta durezza ed una buona resistenza ad usura che possa essere utilizzato per la produzione della guida.

Suddivido per comodità le osservazioni:

- *Hardness -Coefficient of friction*

Osservando il diagramma si coglie che il Lupolen 5021 DX, il Polyethylene BL2571 ed il Polypropylene GB364WG, presentando contemporaneamente bassi coefficienti d'attrito e una discreta durezza, risultano selezionabili.

- *Hardness – Wear resistance*

Dalla seguente analisi invece sembrerebbe che i polimeri su cui fondare la produzione siano il Makrolon 3208 , il MAGNUM 3513/3515 AS ed il Polypropylene GB364WG, ma come accennato in precedenza il PC non è idoneo.

A valori intermedi si trovano sia il Lupolen 5021 DX che il Polyethylene BL2571 che dunque rappresentano una valida alternativa.

- *Coefficient of friction – Wear resistance*

In quest'ultimo diagramma si coglie chiaramente che i prodotti più opportuni da selezionare sono quelli con un basso coefficiente d'attrito ed una discreta resistenza all'usura: ovvero il Lupolen 5021 DX, il Polyethylene BL2571 ed il Polypropylene GB364WG.

Date queste osservazioni si può assumere che descrittivamente i polimeri più idonei da selezionare per un primo test, in attesa del collaudo generale, sono :

- **Polyethylene BL2571**
- **Lupolen 5021 DX**
- **Polypropylene GB364WG**

Di seguito sono evidenziate le loro principali proprietà con le corrispettive normative.

Tabella 3 – Proprietà polimeri

Prodotto	Lupolen 5021 DX	Polyethylene BL2571	Polypropylene GB364WG
Tensile Modulus [Mpa]	1000	1250	6500
Norma	ISO 527 -1,-2	ISO 527 -2	ISO 527 -2
Flexural Modulus [Mpa]	\	1350	6000
Norma	\	ISO 178	ISO 178
Hardness [MPa]	45	66	112
Norma	ISO 2039 -1	ISO 868	ISO 2039
Impact [KJ/m ²]	6	\	9
Norma	ISO 179 (-30° n)	\	ISO 179/1eA (-20° n)
Tensile strain at yield [%]	9	8	\
Norma	ISO 527 -1,-2	ISO 527-2	\
Tensile strain at break [%]	\	\	3,3
Norma	\	\	ISO 527 -2
Density [g/cm ³]	0,95	0,957	1,12
Norma	ISO 1183	ISO 1183	ISO 1183
Coefficient of friction	0,25	0,3	0,35
Norma	\	\	\
Melt flow rate [g/10 min]	0,25	0,2	0,2
Norma	ISO 1183	ISO 1183	ISO 1183

2.3 Progettazione Filiera

In seguito alla selezione del materiale il lavoro viene trasferito all'ufficio tecnico dove mediante il programma AUTOCAD inizia la progettazione della filiera.

Filiera è il termine tecnico che definisce l'insieme dell'attrezzatura da abbinare alla linea di estrusione, atta a trasformare il materiale termoplastico fluidificato con l'estrusore, in un profilo solido dalla forma desiderata.

La filiera in genere è composta da:

1. Testa filiera (*che per comodità chiameremo semplicemente filiera*)
2. Sistema di calibrazione (*detti anche calibratori o calibri*)

Poiché i polimeri che verranno utilizzati appartengono principalmente alla famiglia delle poliolefine si è deciso di produrre la filiera ed i calibratori considerando il comportamento del polietilene in estrusione, ben sapendo che le dimensioni della guida avrebbero modificato la normale progettazione degli stampi.

2.3.1 Filiera

Come detto, a causa dell'atipicità del prodotto da estrarre è stato necessario apportare una serie di modifiche alla filiera, che per il caso in analisi sarà costituita da:

Tabella 4 – Dimensionamento Piastre

Componente	Dimensionamento (mm)
Convogliatore (CO)	Ø 200 X 90 (Ø 60 in ingresso)
Piastra di Raccordo 1 (PR1)	200 X 240 X 30
Piastra di Raccordo 2 (PR2)	200 X 240 X 30
Piastra Parallela (PP)	200 X 240 X 80
Piastra d'Uscita (PU)	200 X 240 X 100

Il convogliatore è un elemento cilindrico svasato che permette il trasferimento del polimero fuso dalla zona di trasporto dell'estrusore alla filiera.

La piastra di raccordo come indica il nome stesso ha la funzionalità di favorire il flusso del fuso verso l'uscita della filiera agevolando il passaggio dal convogliatore alla piastra parallela.

La piastra parallela è l'elemento chiave di tutta la filiera in quanto definisce parzialmente la geometria del profilo che verrà estruso e presenta una peculiarità quale la costanza di tutti gli spessori; questa scelta è dettata dal fatto che si vuole convogliare il fuso il più omogeneamente possibile verso la piastra d'uscita .

La piastra d'uscita è l'ultimo elemento compositivo della filiera e definisce, ancor più della piastra parallela, la geometria del profilo.

In genere la filiera è semplicemente costituita da una sola piastra di raccordo perché la portata di massa è normalmente ridotta, dunque il passaggio da convogliatore a PP risulta essere graduale o comunque privo di variazioni geometriche tali da causare scompensi nella spinta del fuso o turbolenze nella filiera ,che potrebbero inficiare il processo di estrusione. La guida però, richiedendo per la sua produzione una portata di massa decisamente superiore, avrà bisogno di un' ulteriore PR per distribuirsi omogeneamente secondo la geometria imposta .

2.3.1.1 Sviluppo

Lo sviluppo della filiera per la produzione della guida è partito considerando la matematica del progetto ed è continuato preparando le varie piastre a ritroso, ovvero dalla PU sino al convogliatore; questo espediente tecnico è funzionale a quantizzare ipoteticamente la variazione dimensionale che il polimero subirà all'uscita dalla filiera ed definire con semplicità gli scavi da apportare alle piastre, conoscendo in partenza la sezione da disegnare sulla faccia d'uscita della PU.

Generalmente si tenderebbe ad apportare variazioni lineari dell'**5%** se non inferiori (specialmente se il materiale trattato è PVC), ma in tal caso si è deciso di applicare un incremento dimensionale pari al **7,4%** e di **ridurre gli spessori di circa il 10%**, supponendo che il fenomeno di swelling in uscita dalla filiera sarebbe stato decisamente più marcato rispetto allo standard .

E' importante sottolineare che il fuso, in fase di produzione, è sempre soggetto all'azione di un traino che ne favorisce lo scorrimento e comporta simultaneamente un' attenuazione del fenomeno di rigonfiamento. In questo modo si giustifica la ridotta variazione dimensionale applicata a qualsiasi profilo avente portata di massa inferiore.

La variazione del 7% trova conforto in un breve studio teorico condotto sul polietilene ad alta densità (Lupolen 5021 DX) , sfruttando il metodo PVT³ per il calcolo del ritiro nei processi di iniezione; tale metodo sfrutta il volume specifico del polimero al variare della pressione (che considereremo costante) e della temperatura per riuscire a stimare il ritiro volumetrico.

$$ritiro\ volumetrico = 1 - \frac{(V_f)}{(V_i)}$$

V_f = volume specifico finale

V_i = volume specifico in uscita dalla filiera

Supponendo un ritiro isotropico definiamo il ritiro lineare come

$$ritiro\ lineare = \frac{ritiro\ volumetrico}{3}$$

Tabella 5⁴ - Volume Specifico in Funzione della Temperatura e della Pressione

Temperatura [°C]	Pressione [bar]	Volume specifico [cc/g]
180	1	1,3124
79,4	1	1,0817
60,3	1	1,0717
29,7	1	1,0585
23	1	1,0526

La tabella 3 mostra una serie di valori ricavati dal volume " Standard pressure-volume-temperature data for polymers " di Paul Zoller e David J. Walsh che sono rappresentativi di un HDPE, avente un volume specifico a 23°C pari a 1,0537 cc/g , che risulta simile al Lupolen 5021 DX preso in esame.

Infatti:

$$V_{specifico} = \frac{1}{\rho}$$

³ ANTEC '97, Volume 3, Society of Plastic Engineers, CRC press 1997 (pag. 3296)

⁴ Standard pressure-volume-temperature data for polymers, Paul Zoller e David J. Walsh, CRC press 1995 (pag.39)

$$V_{\text{specifico}} = \frac{1}{0,95} = 1,0526 \frac{\text{cc}}{\text{g}}$$

Con ρ = densità.

Le temperature sono state inserite secondo i dati tabulati da precedenti produzioni svolte con il prodotto medesimo. Ovviamente i 180°C si riferiscono alla temperatura che il polietilene fuso presenta all'uscita dalla filiera.

Sviluppando i calcoli per definiti intervalli di temperatura si ottiene

Tabella 6 - Ritiro Volumetrico e Lineare

RITIRO volumetrico	RITIRO lineare	intervallo di temperatura	
0,19795794	0,06598598	180°C	23°C
0,193462359	0,064487453	180°C	29,7°C
0,005573925	0,001857975	29,7°C	23°C

Ora trasformo i valori ricavati in percentuale

Tabella 7 – Ritiro Volumetrico e Lineare Percentuale

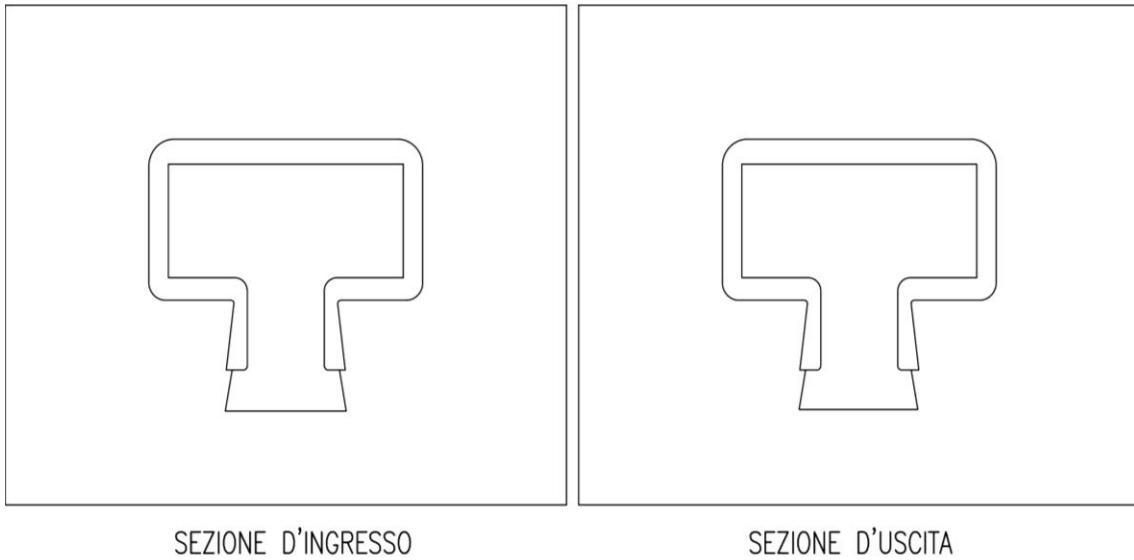
RITIRO volumetrico %	RITIRO lineare %	intervallo di temperatura	
19,79579397	6,598597988	180°C	23°C
19,3462359	6,448745301	180°C	29,7°C
0,557392537	0,185797512	29,7°C	23°C

Da quanto ottenuto si coglie chiaramente che la guida in polietilene potrebbe teoricamente subire una variazione dimensionale lineare pari allo 6,59% , che dunque conferma il 7,4% utilizzato per la progettazione della piastra d'uscita. Ovviamente questi dati non sono attendibili al 100 % in quanto l'analisi si fonda su un processo produttivo diverso da quello dell'estrusione.

Confermata la veridicità dell'incremento dimensionale utilizzato per la progettazione della filiera, ora verranno mostrate le sezioni di ingresso ed uscita delle varie piastre partendo dalla PU sino al CO secondo un rapporto di scala pari a **1:3**.

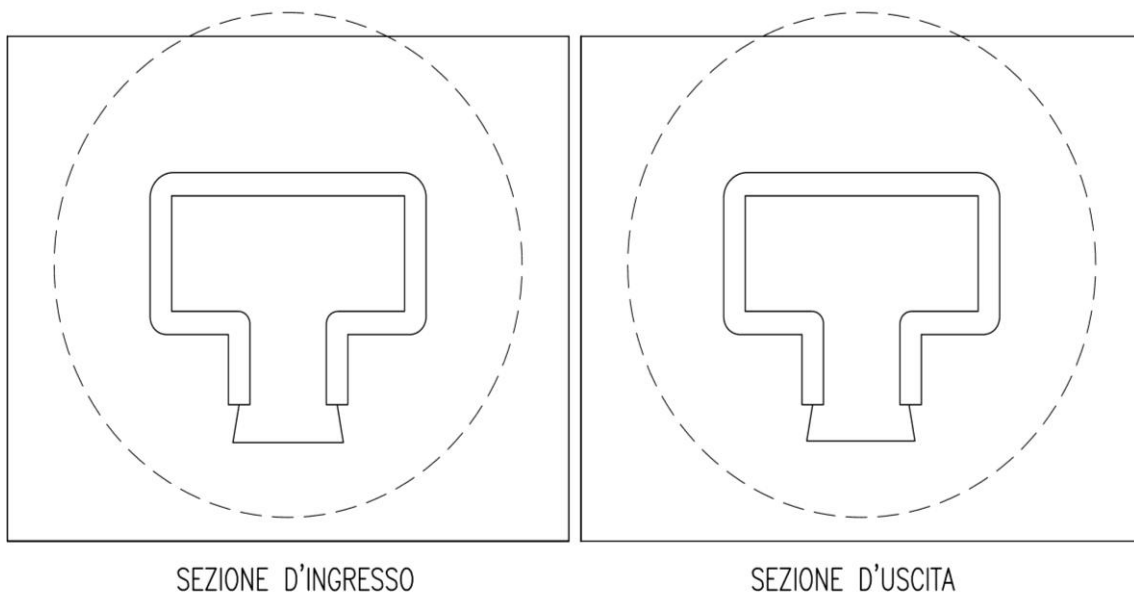
Piastra d'uscita

- Aumento dimensionale del 7,4 %
- Spessore da 11 mm ridotto a 10 mm
- Spessore da 9 mm ridotto a 8,3 mm

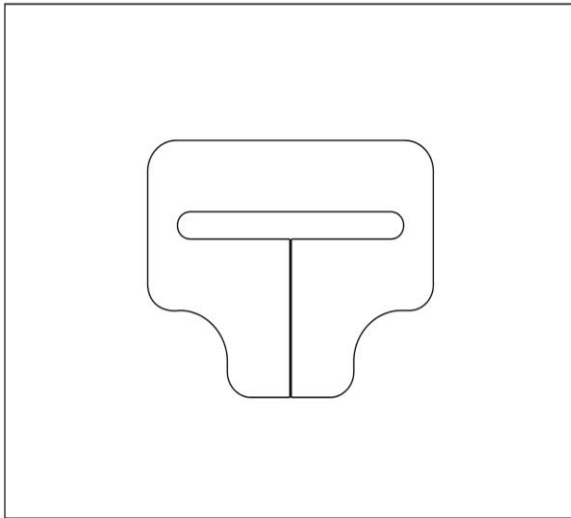


Piastra parallela

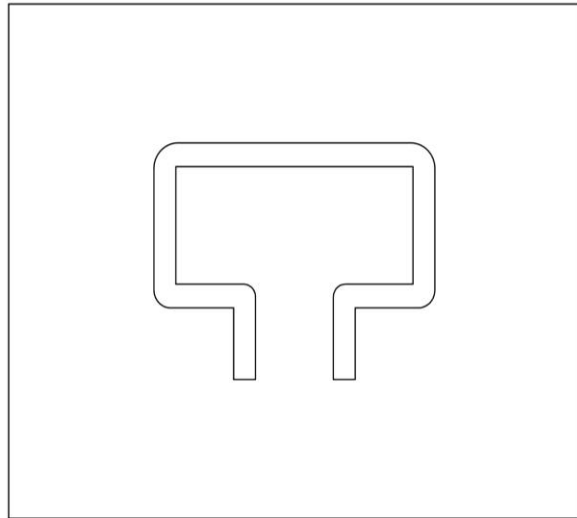
- Tutti gli spessori sono costanti e portati ad un valore di 9,2 mm



Piastra di raccordo 2

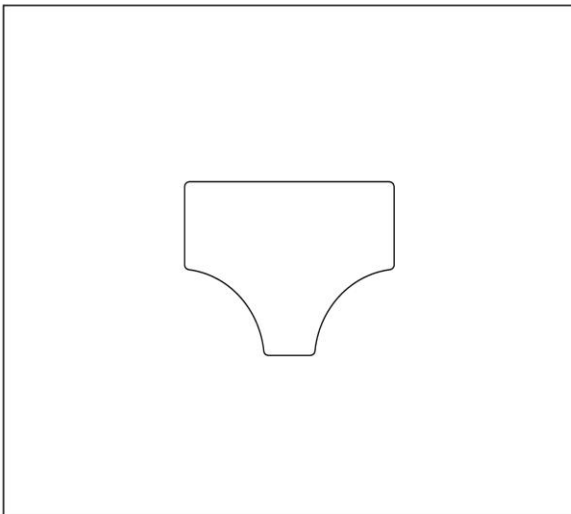


SEZIONE D'INGRESSO

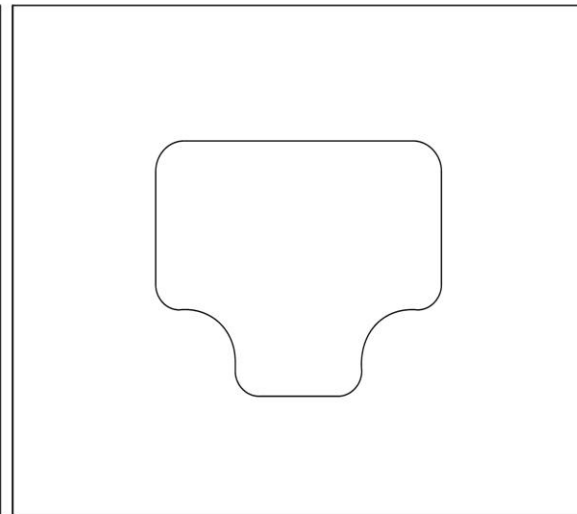


SEZIONE D'USCITA

Piastra di raccordo 1

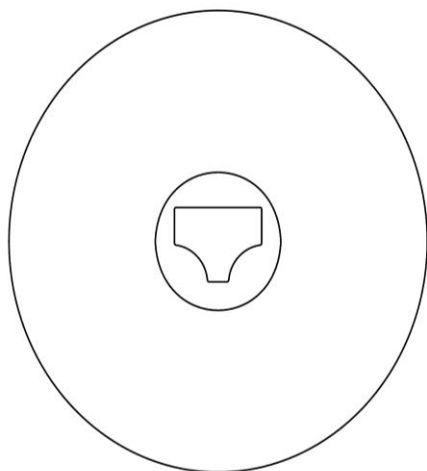


SEZIONE D'INGRESSO

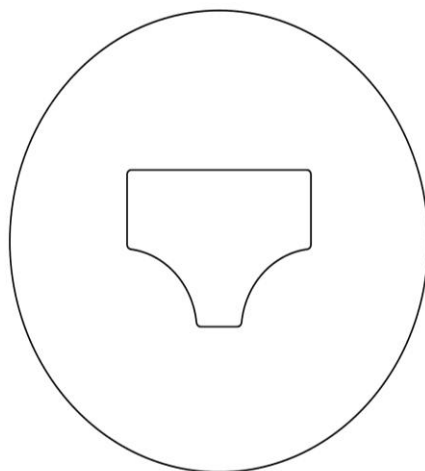


SEZIONE D'USCITA

Convogliatore



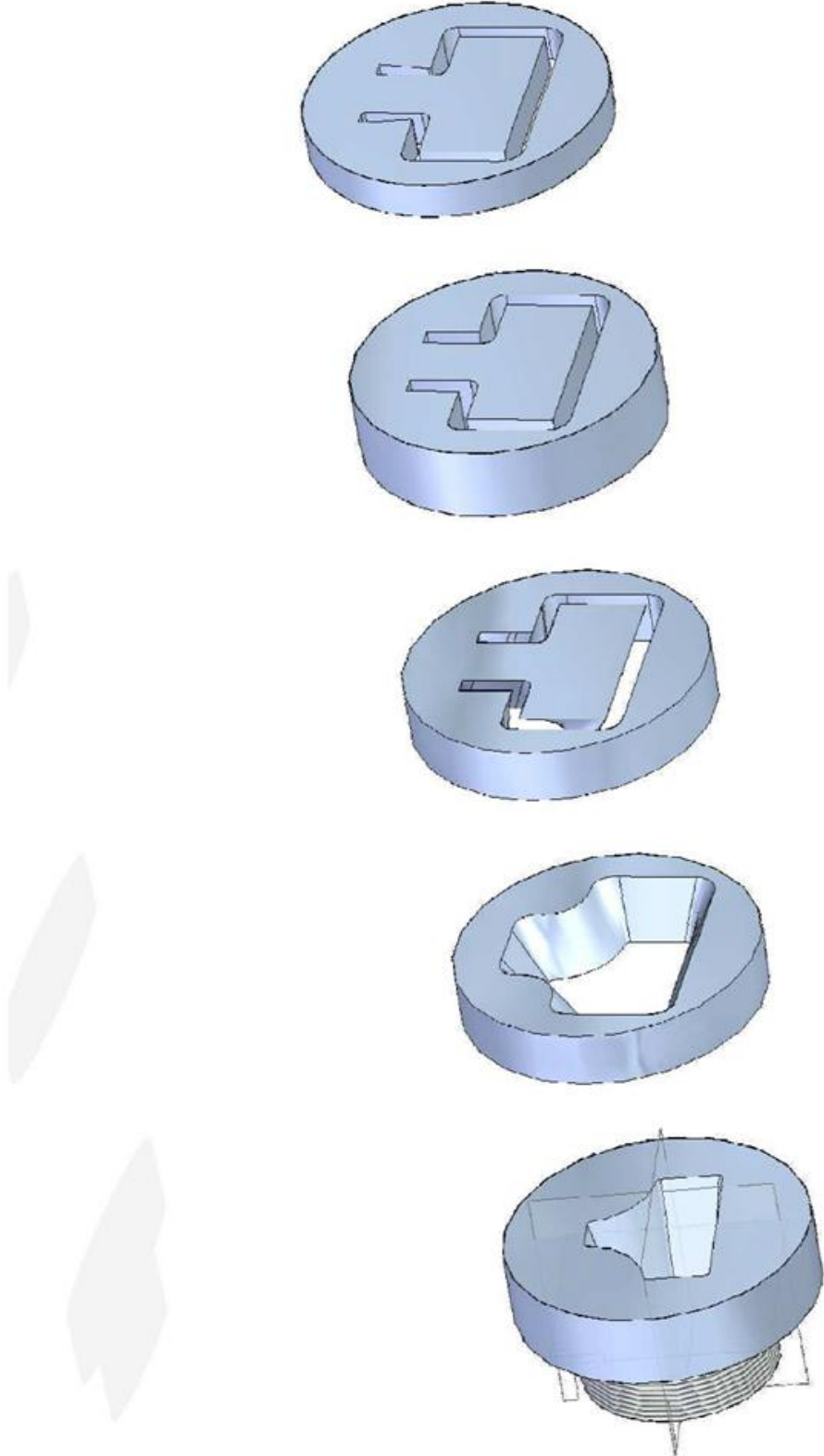
SEZIONE D'INGRESSO



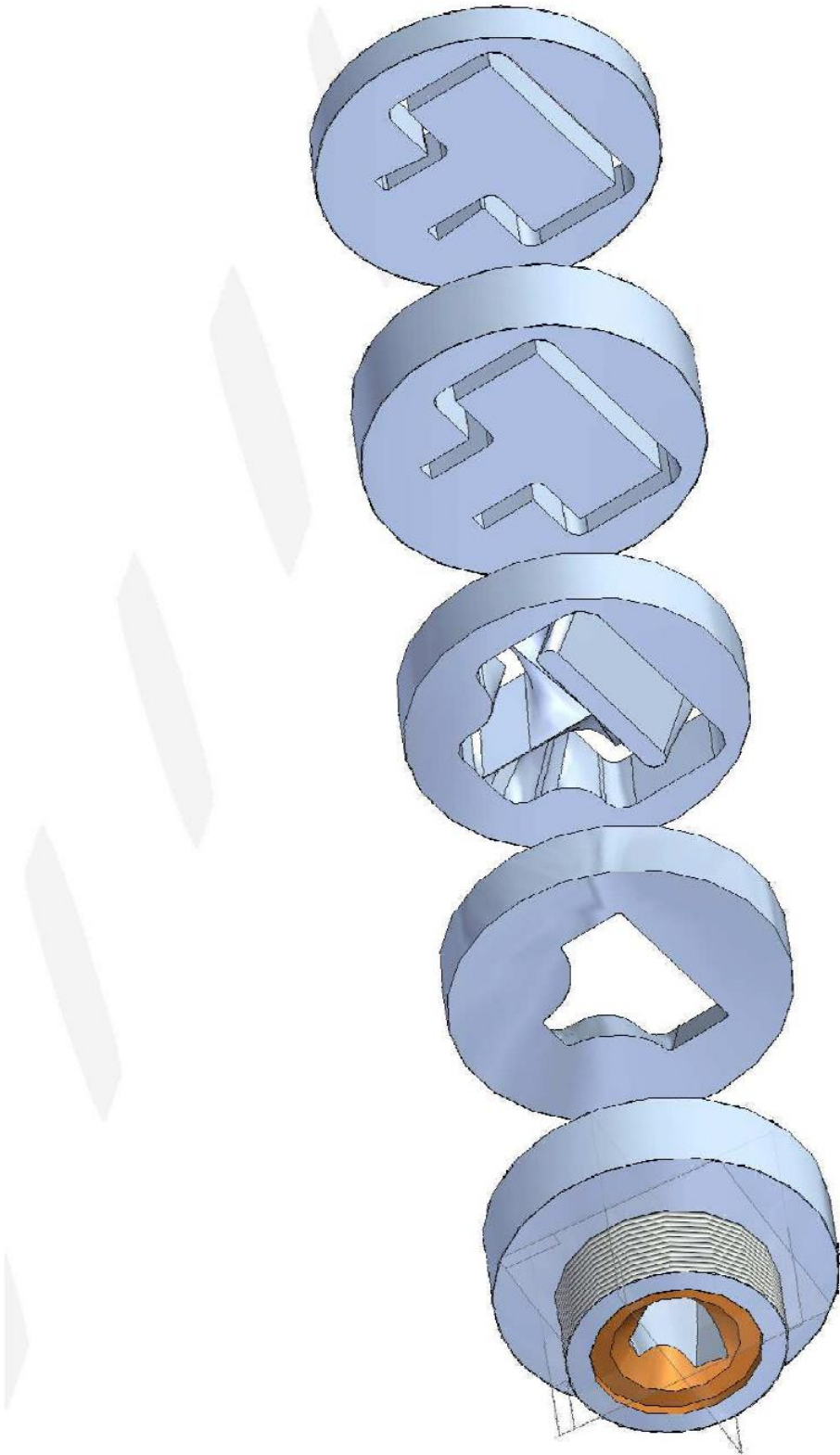
SEZIONE D'USCITA

Per concludere sono visibili la vista anteriore e posteriore della filiera costituita da piastre cilindriche, disegnata in 3D mediante il programma “Solid Edge”.

Filiera: Vista Anteriore



Filiera: Vista Posteriore



2.3.2 Calibri

Il passo successivo alla progettazione della filiera riguarda la preparazione ,sempre tramite AUTOCAD, dei calibri; ovvero dei componenti prismatici cavi ,apribili mediante un coperchio, che hanno la funzione di definire con precisione la fisionomia del profilo e di raffreddarlo. Essi sono posizionati su un bancale esterno, disposto frontalmente all'estrusore, che può essere movimentato manualmente o elettricamente al fine di allinearli alla filiera.

Anche in questo caso è stato necessario applicare un incremento dimensionale alla sezione della guida pari al **4%** (in genere per il PVC la variazione dimensionale è dello **0,7 %**), che indirettamente ha comportato lo sviluppo di **3 calibratori** aventi le suddette dimensioni 200 X 240 X 150 mm.

I calibratori però non presentano sia in ingresso che in uscita sezioni costanti, anzi come si può notare dalle tabelle 8,9,10 si denota una variazione lineare che si approssimerà alla matematica del progetto. Ovviamente non si potranno progettare dei calibratori con le stesse misure del progetto originale, in quanto è necessario garantire al polimero oramai solido (siamo in fase di raffreddamento) lo scorrimento senza il contatto con le pareti dei calibri, che potrebbero causare il **grippaggio** del profilo.

Tabella 8 – Confronto Matematica-Calibro 1

Matematica (mm)	Calibro 1 ingresso (mm)	Variazione dimensionale %
109	113,36	+4
86	89,44	+4
91	95,16	+4,5
26	27,04	+4
38	40,20	+5,7
41,5	42,86	+3,2

La Tabella 8 verifica la bontà dell'incremento applicato (4%) al primo calibratore considerando il progetto di partenza .

Tabella 9 - Confronto Matematica – Calibro 3

Matematica (mm)	Calibro 3 uscita (mm)	Variazione dimensionale %
109	109,96	+0,8
86	88,44	+2,8
91	91,06	+0,06
26	28,04	+7,8
38	37,80	-0,5
41,5	42,41	+2,2

La Tabella 9 invece mostra il graduale approssimarsi del terzo calibratore alle dimensioni richieste per la produzione del profilo estruso; le variazioni più marcate sono state vagliate in funzione della possibile contrazione volumetrica che il polimero potrebbe subire in fase di raffreddamento.

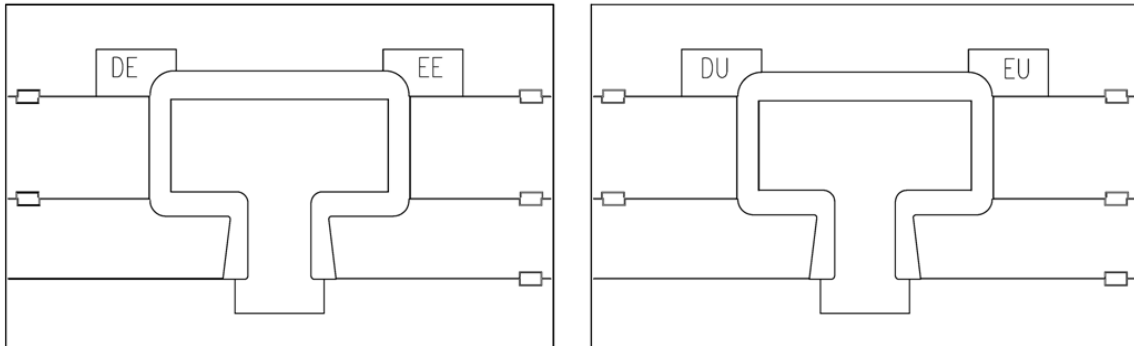
Tabella 10 – Confronto Piastra d’Uscita – Calibro 3

Piastra d’uscita (mm)	Calibro 3 uscita (mm)	Variazione dimensionale %
117,07	109,96	-6,4
92,36	88,44	-4,4
100,47	91,06	-10,3
27,92	28,04	+0,4
45,44	37,80	-13
42,09	42,41	+0,7

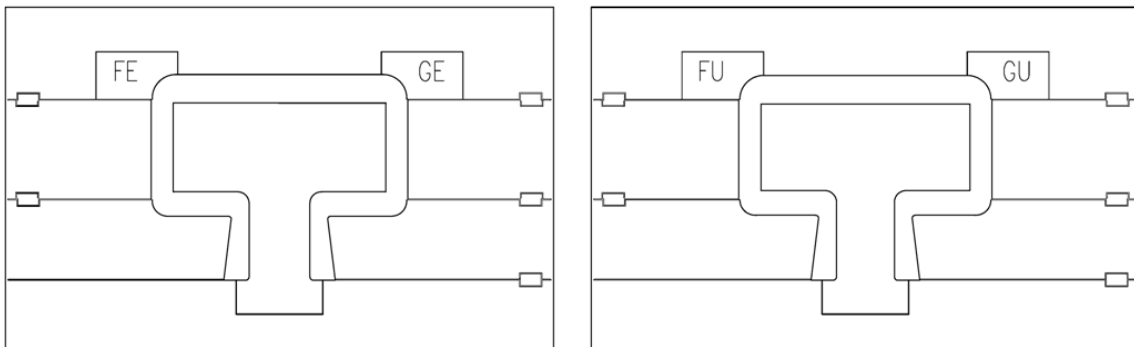
La tabella 10 mostra globalmente il dimensionamento che subirà il polimero passando dalla filiera all’uscita dei calibratori.

Ora saranno mostrate le sezioni di ingresso ed uscita dei calibri (scala **1:2.5**)

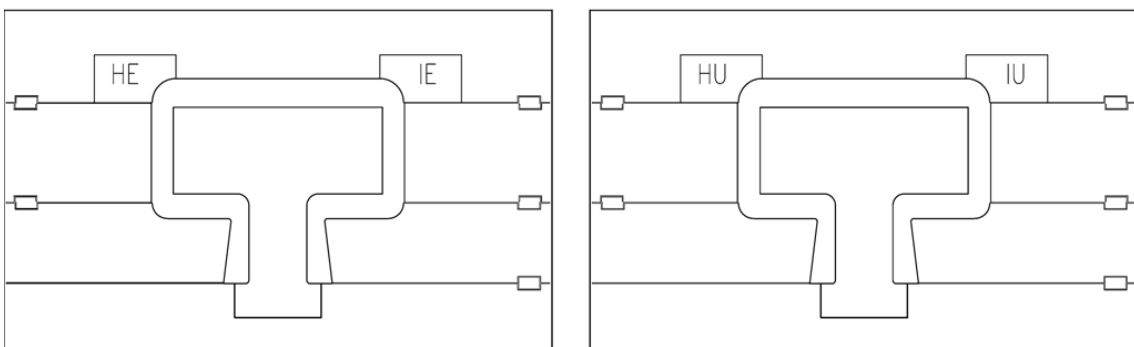
Calibratore 1



Calibratore 2

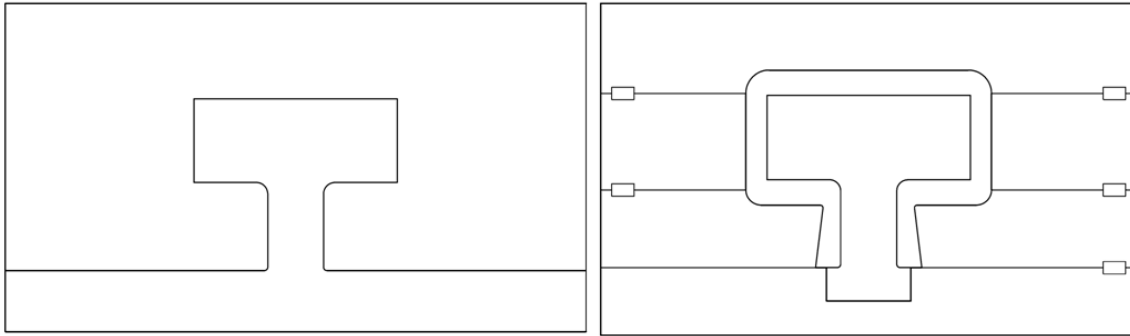


Calibratore 3



Guida della vasca

L'ultimo elemento importante è il massello a T che verrà utilizzato per far scorrere il profilo all'interno della vasca di raffreddamento; esso presenta una sezione simile a quella del maschio impiegato per la definizione delle pareti interne nel terzo calibratore.



A sinistra è proposta la vista frontale della guida che verrà inserita nella vasca di raffreddamento; mentre a destra è visibile la sezione di uscita del terzo calibratore, che presenta un maschetto interno con lo stesso dimensionamento dell'elemento confrontato.

3. Produzione Filiera e Calibratori

Successivamente alla progettazione, sono stati preparati mediante l'applicazione denominata 'FIKUS' dei programmi interattivi, che verranno utilizzati dal programma digitale associato al macchinario per l'elettroerosione a filo dei masselli in acciaio AISI 304, funzionali alla produzione delle piastre e dei calibratori.

Tale lavorazione consiste nel generare uno scavo nel volume definito dalla sezione di ingresso ed uscita delle piastre, che comporranno la filiera, e nella finitura dei maschi, che verranno introdotti successivamente nella piastra stessa.

La lavorazione dei calibratori è decisamente diversa in quanto si procede con il taglio dei tasselli e lardoni che verranno assemblati in un secondo tempo (le linee orizzontali, che attraversano le piastre nelle sezioni precedentemente proposte, definiscono il numero di elementi che il macchinario dovrà tagliare). L'interesse nel scorporare in più parti i calibratori è dettato da aspetti costruttivi, di finitura e dalla necessità di inserire all'interno di questi un sistema di raffreddamento ad acqua ed uno di aspirazione.

Difatti considerando la presenza dei sottosquadri è necessario far sì che il calibratore sia estremamente maneggevole e facile da aprire, qualora sia necessario apportare delle modifiche o estrarre il polimero in caso di rottura (non è infatti plausibile spingere avanti ed indietro il calibratore perché vincolato, a destra ed a sinistra, dalla vasca di raffreddamento e dalla filiera).

3.1 Assemblaggio Componenti

Il passaggio successivo è la finitura e l'assemblaggio della filiera e dei calibratori; le piastre costituenti la filiera, in seguito a filettatura, sono state fissate tra loro mediante delle viti e le resistenze necessarie al riscaldamento sono state applicate successivamente sulle facce della filiera stessa (figura 2,3).

Per l'assemblaggio dei calibratori, invece, è stato necessario un grande lavoro, finalizzato all'inserimento dei condotti di raffreddamento ed aspirazione che saranno sistematicamente posti in prossimità delle pareti esterne del profilo; inoltre per agevolare il traino del fuso e l'adattamento di questo alla fisionomia interna dei calibri sono stati incernierati dei coperchi su tutto il blocco di calibrazione(figura 2,3,4,5,6).

L'ultimo elemento caratterizzante è la guida per la vasca, che è stata prodotta separatamente ed al suo interno è stato inserito un condotto di raffreddamento ad acqua, tale da permettere la fuoriuscita del liquido in determinate aree, che sono riconoscibili dalla presenza di piccoli fori sulla faccia superiore della guida lunga 3,2 m (figura 7).

Figura 2 – Vista Laterale della Filiera (PU)

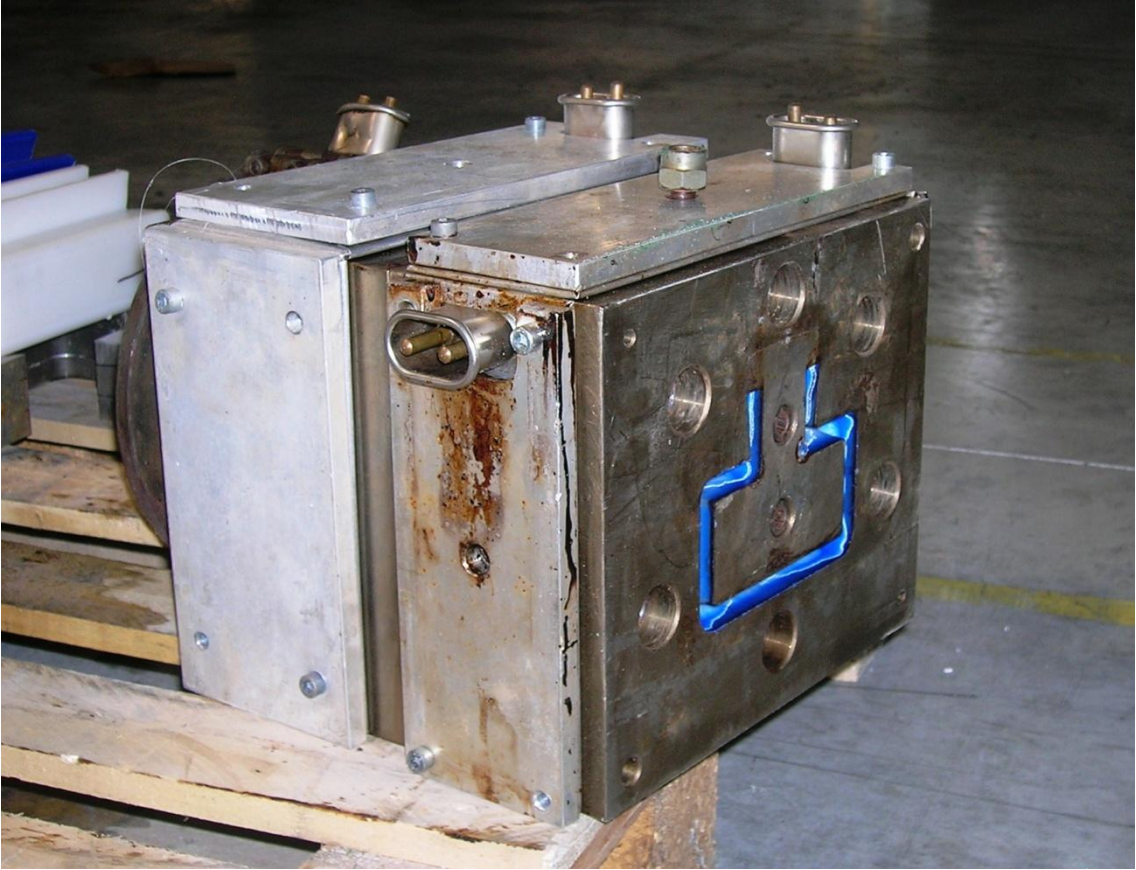


Figura 3 – Vista Laterale Filiera (CO)

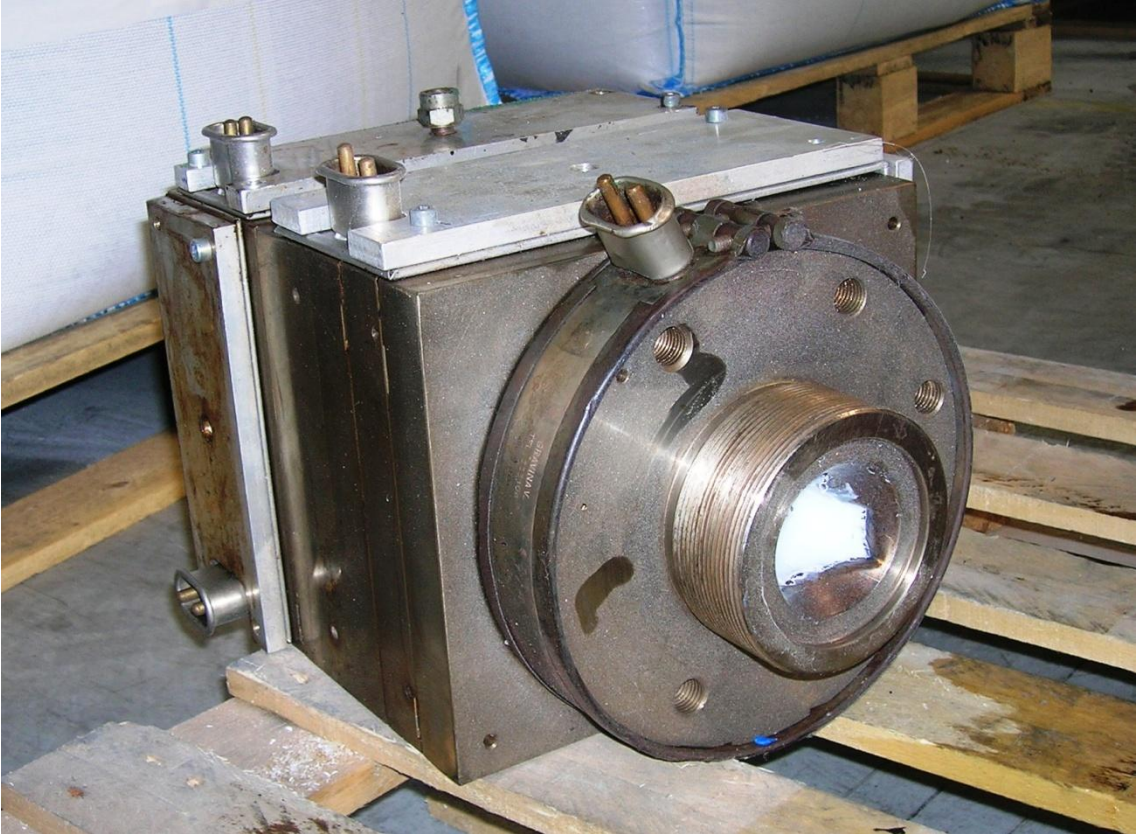


Figura 4 – Vista Frontale del Sistema di Calibrazione

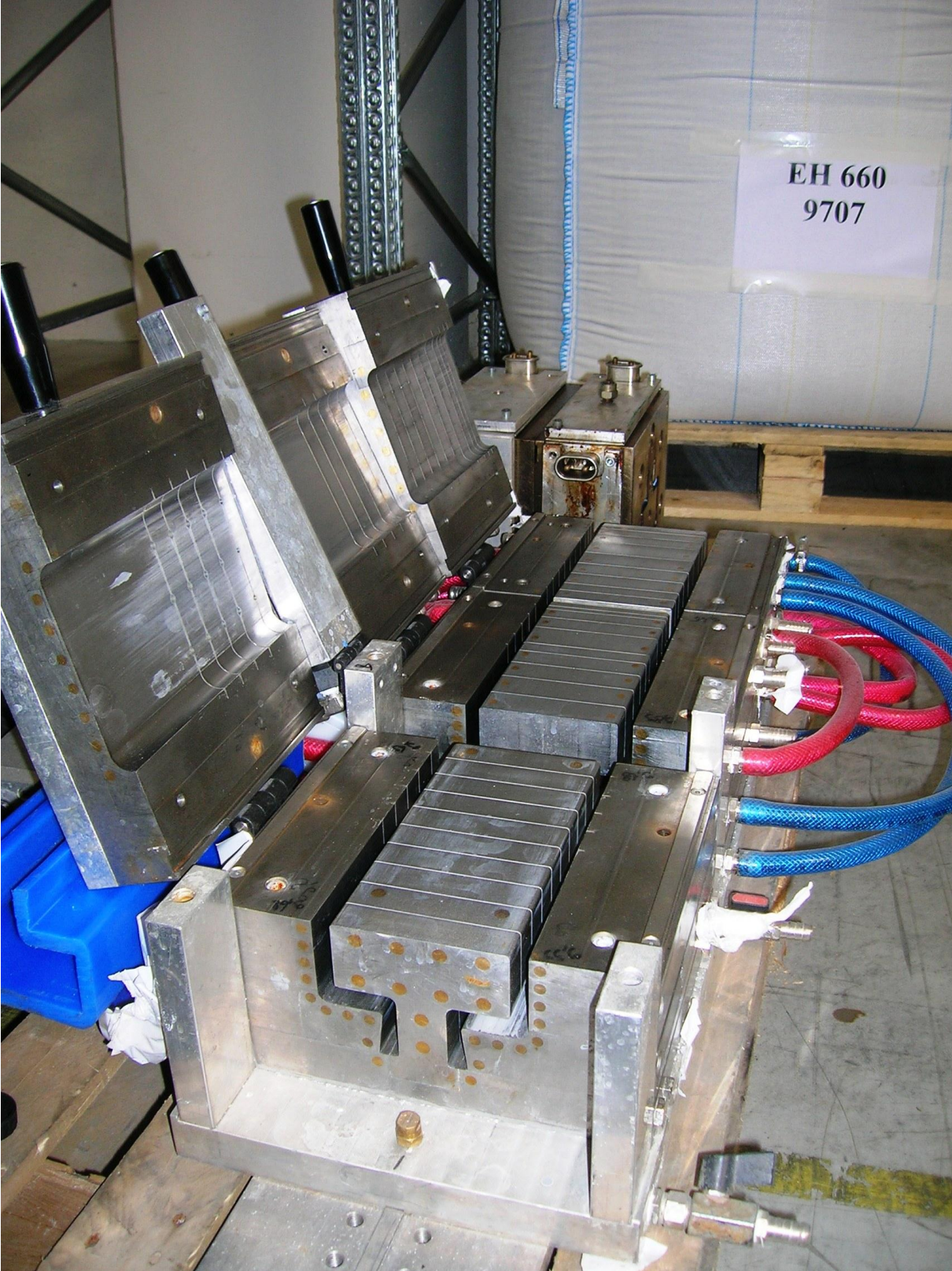


Figura 5 – Vista Laterale Sistema di Calibrazione



Figura 6 – Vista Laterale Sistema di Calibrazione

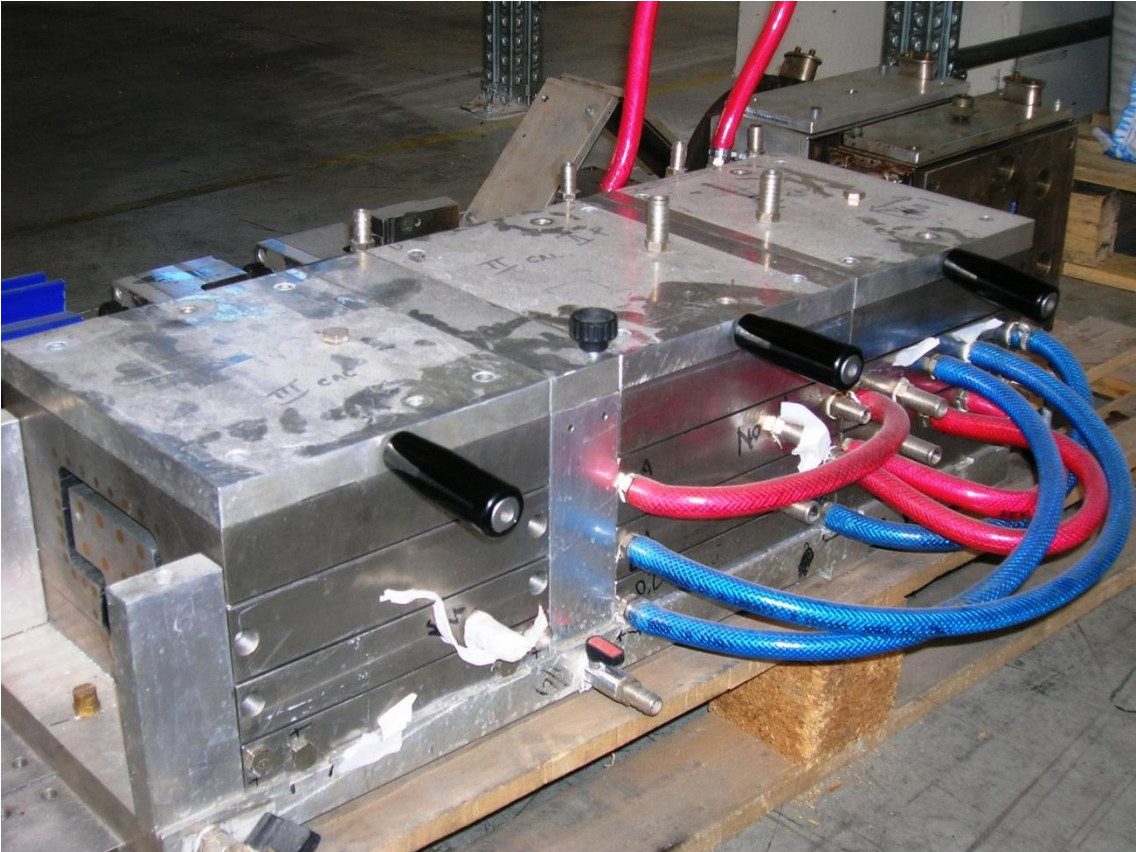


Figura 7 – Vista della Vasca e della Guida



4. Produzione Profilo (1° parte)

4.1 Primo Collaudo

Concluso l'assemblaggio e preparato il bancale portante, per la disposizione del gruppo calibratore e della vasca di raffreddamento, è stato effettuato un test di valutazione generale dei tre polimeri selezionati al fine di valutare la bontà del raffreddamento ed il loro comportamento.

4.1.1 Preparazione Estrusore

Prima di descrivere i risultati del test è doveroso definire schematicamente il processo di preparazione cui normalmente estrusore e polimero sono soggetti.

- Accensione estrusore e riscaldamento termo-resistenze interne
- Riscaldamento della filiera attraverso una serie di resistenze esterne
- Introduzione nella tramoggia del granulato polimerico
- Il polimero viene fuso all'interno del cilindro e trasportato dal moto della vite
- Il fuso fuoriesce dalla filiera e viene tirato da un operatore
- Il fuso è poggiato sui calibratori aperti e viene condotto verso il macchinario di traino
- Successivamente il polimero oramai solido verrà tagliato da un' apposita taglierina posta in serie al traino.

4.1.2 Scelta Estrusore

Tutti i collaudi che seguiranno e verranno descritti sono stati svolti sull'estrusore monovite E63 della Friul Filiere; la scelta è ricaduta su questo macchinario in quanto è l'unico presente nelle linee di produzione che oltre ad essere configurato per la produzione del PE garantisce una portata di massa medio alta.

Di seguito sono indicate le principali caratteristiche dell'estrusore

Tabella 11 – Caratteristiche Tecniche

DATI TECNICI	Unità di misura	E63
Diametro vite	mm	60
Lunghezza (vite)	mm	22/25/30 D
Giri vite	rpm	50 -160
Motore DC	kW	24,5-43
Potenza di riscaldamento	kW	11-15
Lunghezza	mm	2180-2580
Larghezza	mm	1000
Altezza	mm	1900
Peso	kg	1200-1300

Tabella 12 – Caratteristiche Elettriche

Macchina	Assorbimento massimo (A)	Potenza max installata (kW)	Sezione cavi elettrici (mm ²)	Assorbimento da aggiungere al massimale (A)
E 63	71-132	32.5-53-5	25/35/50	5

Tabella 13 – Caratteristiche Tecniche di Produzione (portate nominali kg/ora)

	E63		
	22 D	25D	30D
UPVC	70	90	
PPVC		150	
PE		100	220
PP			150
ABS		100	
PS		100	
PMMA		90	
PC		90	

4.1.2.1 Disposizione Spaziale dei Componenti

Come già accennato frontalmente all'estrusore, con la rispettiva filiera, è posizionato un bancale semovibile con i 3 calibratori e la vasca di raffreddamento, dopo questo complesso è disposto il traino meccanico e subito in successione la taglierina (figura 8-9-10-11).

Figura 8 - Estrusore , Sistema di Raffreddamento

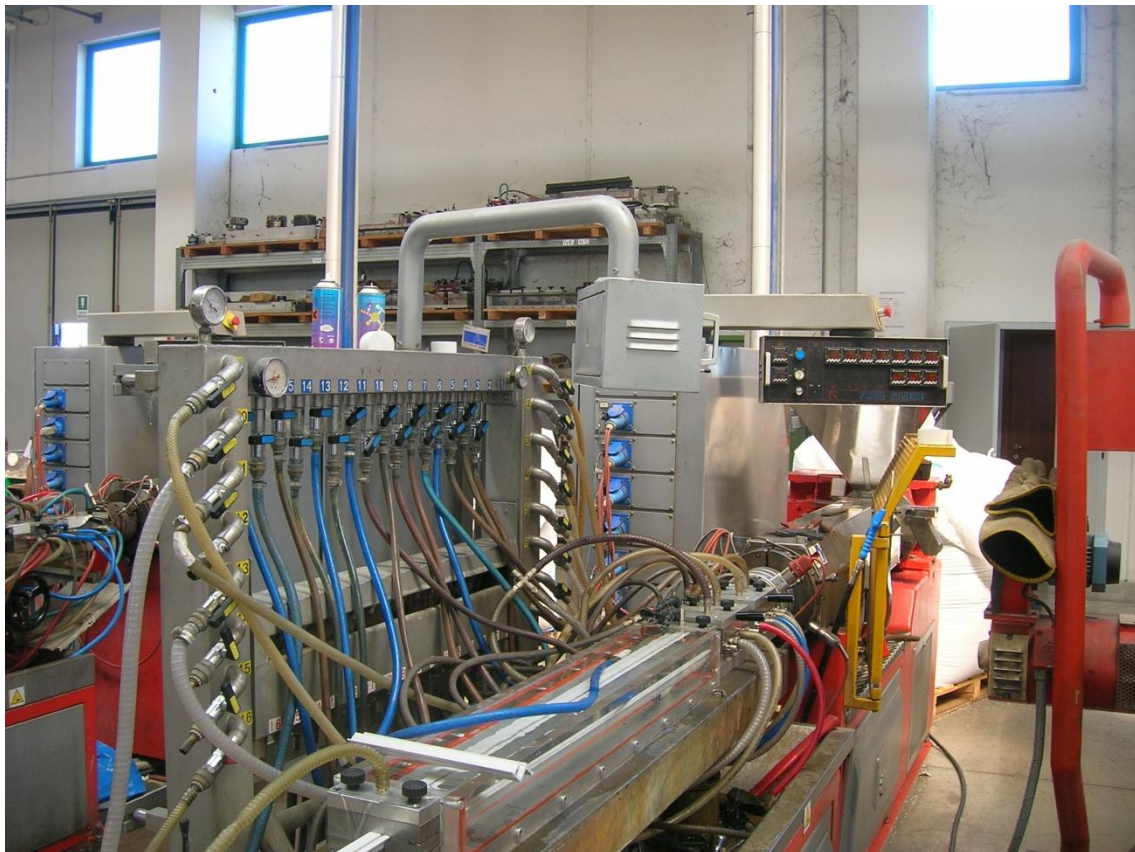


Figura 9 – Vista Pompe H₂O ed Aspirazione

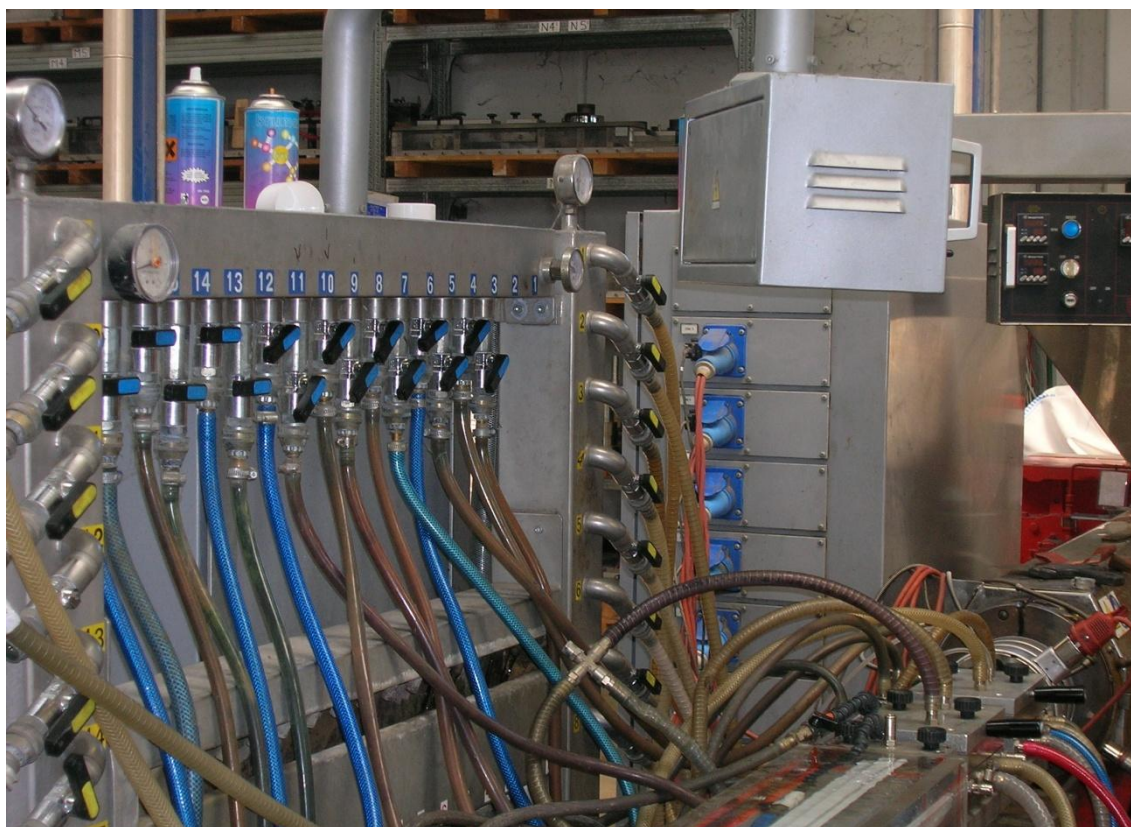
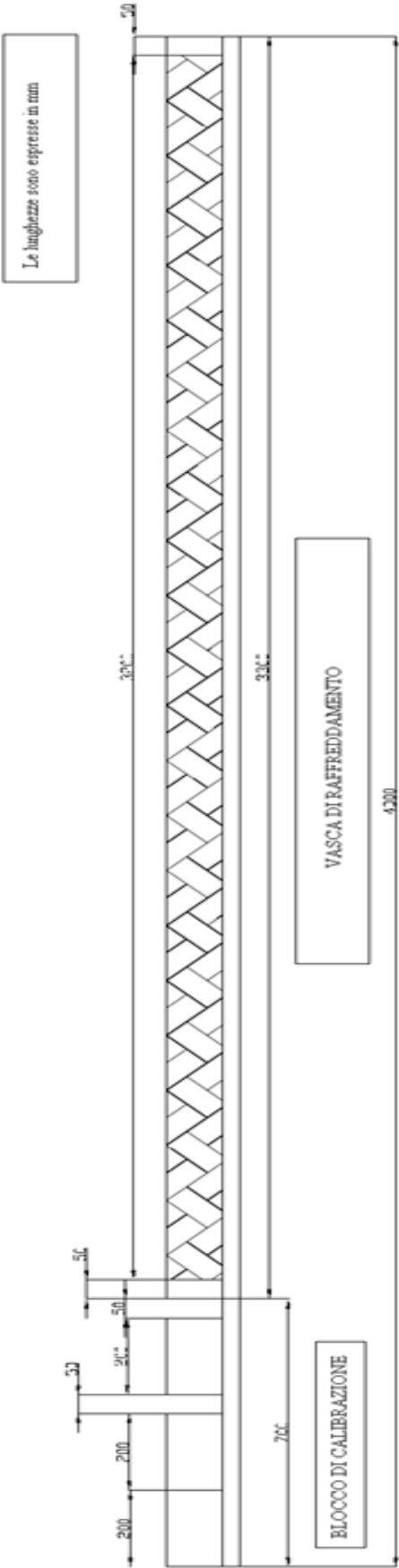


Figura 10 – Estrusore



Figura 11 – Schema Blocco Calibratori – Vasca di Raffreddamento (distanze in mm)



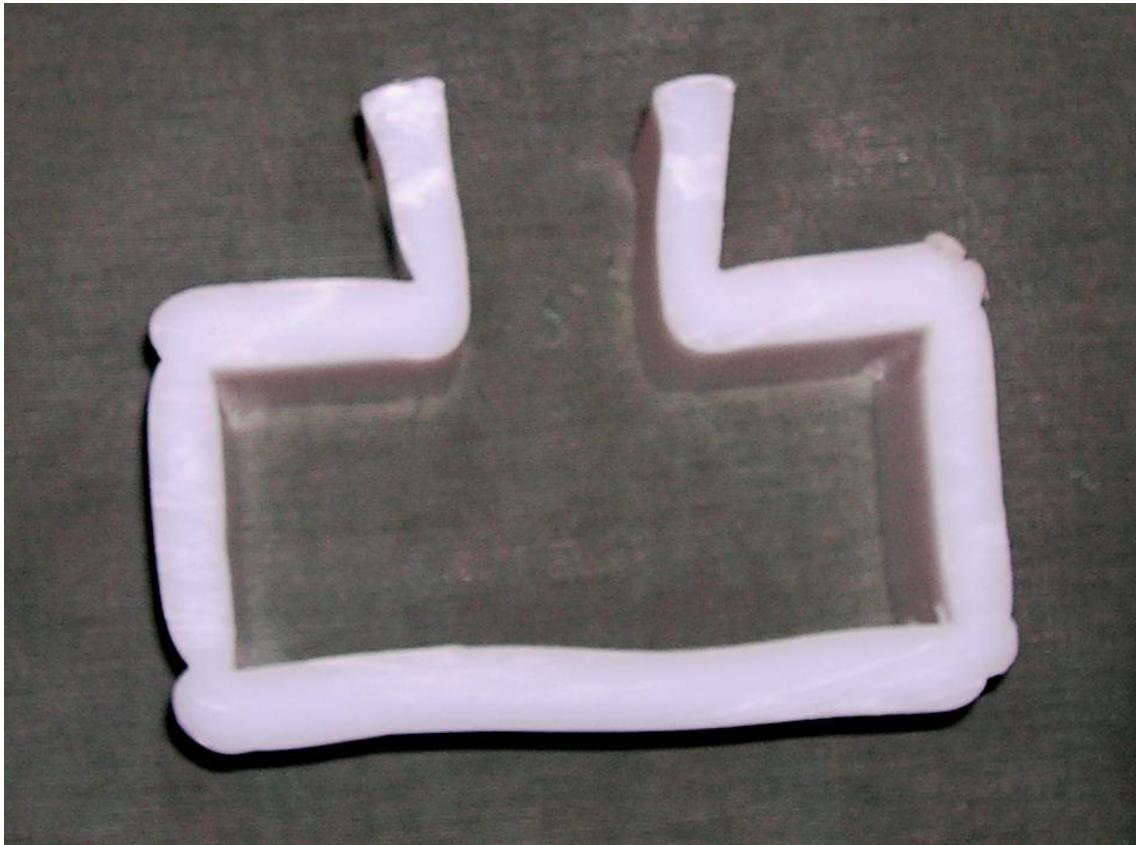
4.1.3 Test per la Selezione del Miglior Materiale

4.1.3.1 Polyethylene BL2571

Predisposto il sistema di raffreddamento a *vasca sommersa*, preparate le pompe per il raffreddamento dell'acqua e per l'aspirazione lungo le pareti dei calibri si è proceduto all'estrusione del Polyethylene BL2571 (Figura 12).

Al termine di questa il polimero presentava marcati ritiri in prossimità degli angoli di raccordo ed un spiccata ondulazione delle pareti, senza considerare la bombatura delle facce verticali. Tutti questi aspetti si sono rilevati indice di una scarsa stabilità termica ed hanno conseguentemente reso inadeguato il materiale per la produzione.

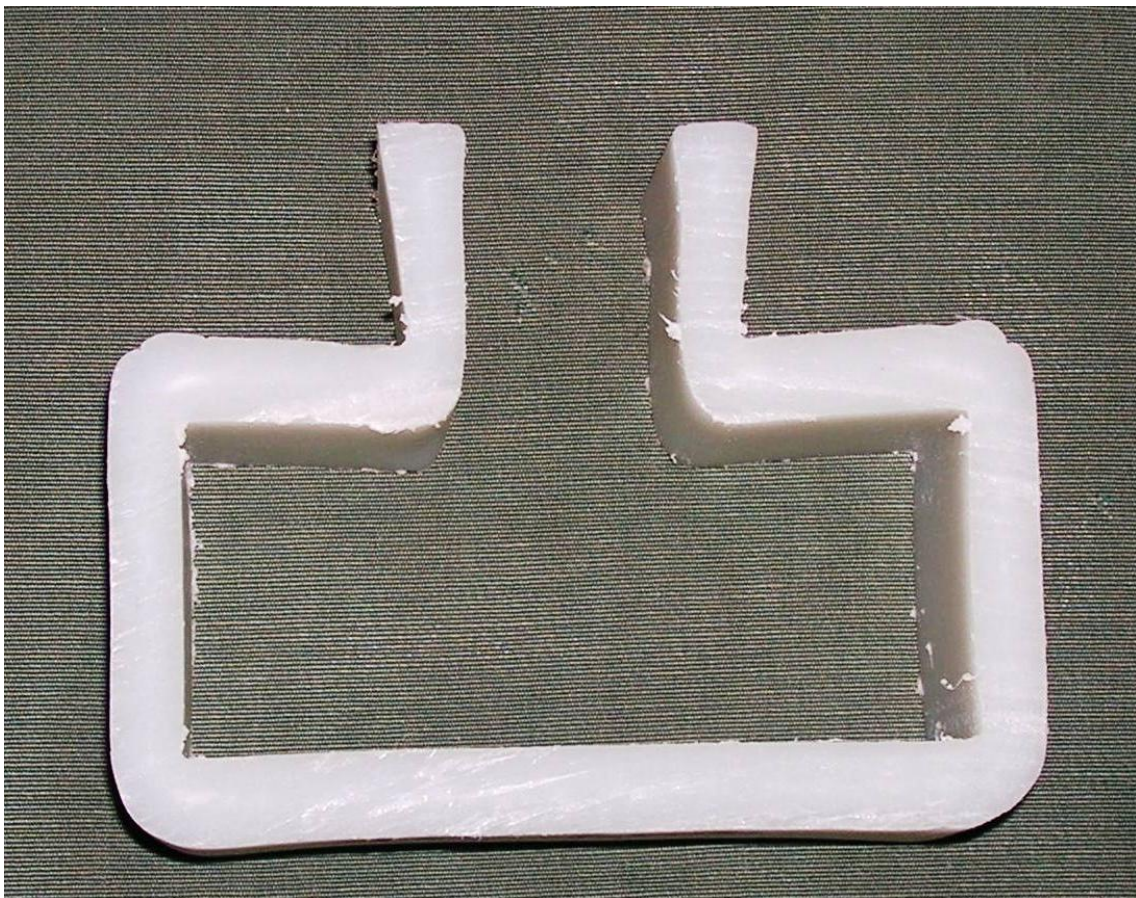
Figura 12 – Guida in Polyethylene BL2471



4.1.3.2 Polypropylene GB364WG

La prova successiva è stata effettuata nelle medesime condizioni di raffreddamento ma è stato impiegato il PP caricato con le fibre di vetro; in questo caso, come si può notare dalle immagini (figura 13- 14), l'estruso presentava un'ottima stabilità dimensionale ma anche una discreta rugosità superficiale percepibile al tatto, che dunque nonostante una buona resistenza ad usura non avrebbe garantito un basso coefficiente d'attrito.

Figura 13 – Polypropylene GB364WG



Per questo motivo, sebbene la stabilità termica garantisca le migliori condizioni di estrusione, si è deciso di scartare il polipropilene e testare il polietilene ad alta densità, che era stato scelto in fase di progettazione.

Figura 14 – Particolare Rugosità

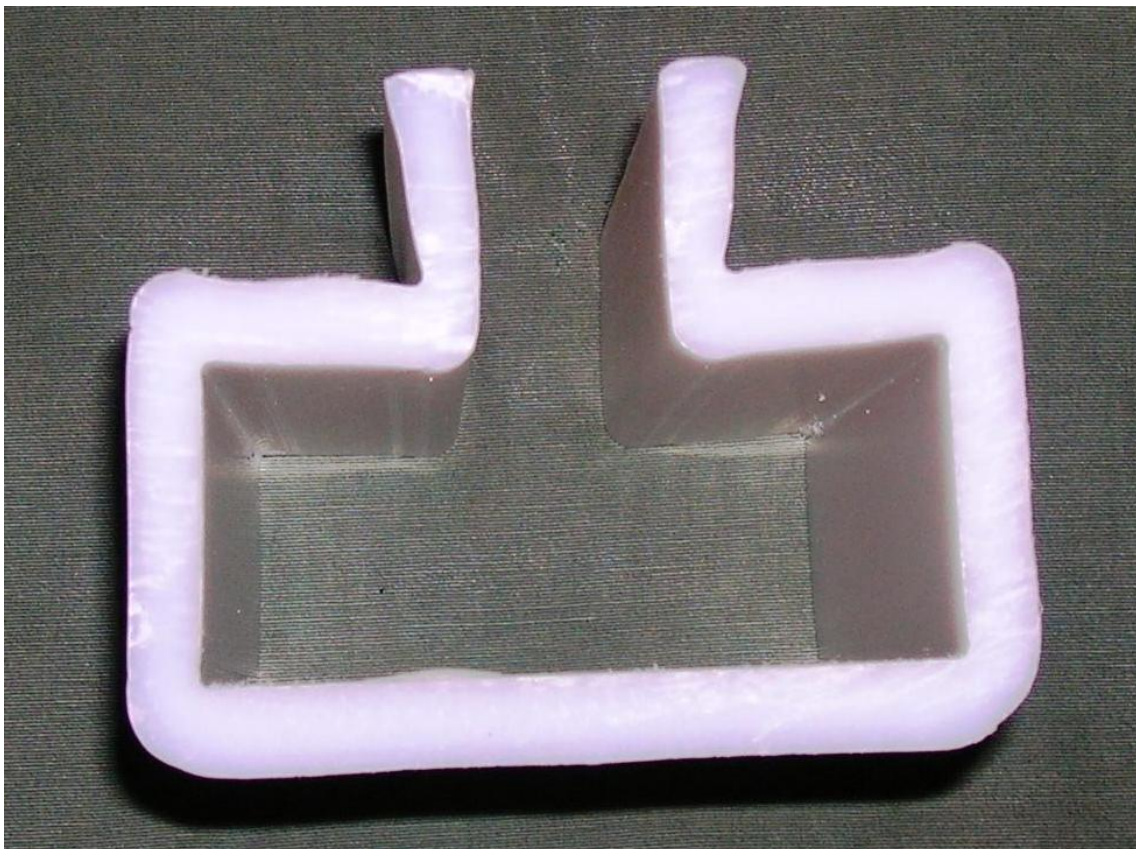


4.1.3.3 Lupolen 5021 DX

Quest'ultimo polimero rispetto al PP si è rivelato altrettanto performante per quanto concerne la stabilità termica, nonostante una contrazione più accentuata delle alette superiori (vedi figura 15) e la presenza di qualche leggera striatura dovuta ai ritiri, e soprattutto non ha presentato nessuna forma evidente di rugosità.

Perciò si è deciso di impostare tutte le produzioni su questo polimero.

Figura 15 – Lupolen 5021 DX



4.1.4 Produzione

Dopo aver definito il polimero da utilizzare è iniziata la produzione in serie della guida ed in corso d'opera sono state variate le temperature critiche dell'estrusore e del sistema di aspirazione fino a dei valori ottimali.

Tabella 14 – Temperature (°C) Ottimali Estrusore e Valori delle Pompe

ESTRUSORE F63/3									
ZONE									
170	175	195	200	200	190	175	170	175	170
ESTRUSORE			convogliatore			piastra uscita			
Alimentazione	transizione	dosaggio							

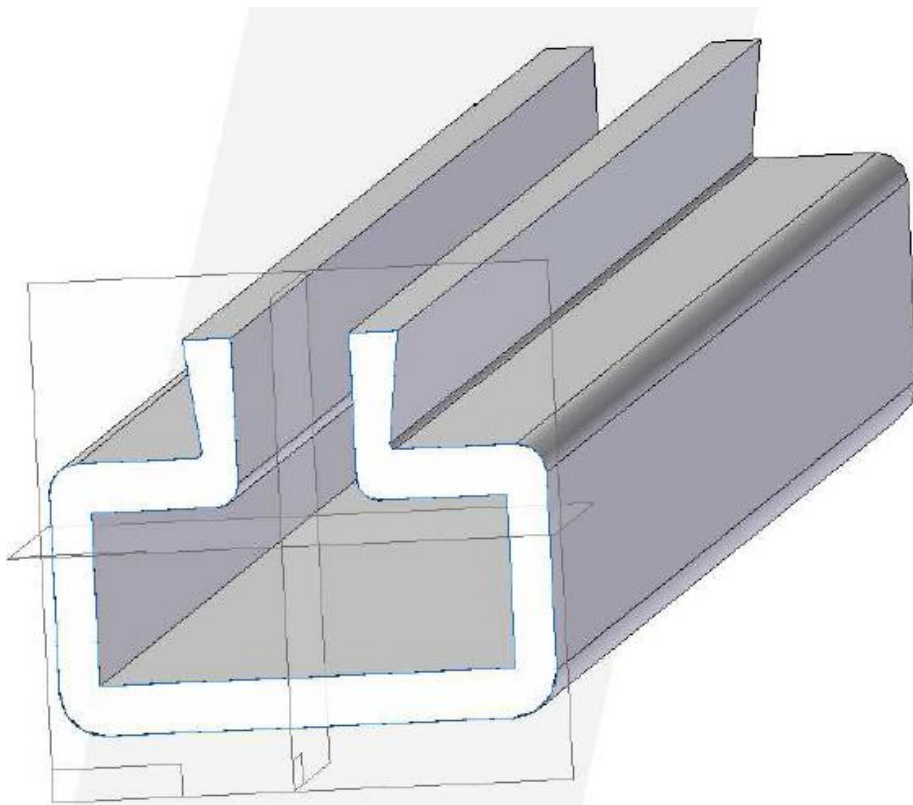
Vuoto nei calibri	50	mm hg
Pressione nei calibri	3	bar
Temperatura H ₂ O	18	°C

Stabilizzata l'estrusione, ove l'avanzamento della guida è avvenuto alla velocità di 31cm/min con una portata ideale di circa 54 Kg/h, si è proceduto all'inserimento nella tramoggia del *batch blu* funzionale alla colorazione della guida; in particolare l'additivo è stato aggiunto per una quantità pari al **2%** rispetto al totale.

La produzione si è completata con il taglio di un lotto costituito da 25 pezzi aventi ciascuno una lunghezza pari a 1180 mm ed un peso al metro di 2,8 Kg/m.

Di seguito sono presentate una vista 3D della guida(Figura 15), disegnata tramite “Solid Edge” , con le corrispettive proprietà fisiche ed un' immagine raffigurante la sezione della guida prodotta (figura 16 –17).

Figura 16 - Vista 3D



Rapporto delle proprietà fisiche teoriche

Densità = 950.000000 kg/m³

Volume = 3486551.559259 mm³

Massa = 3.312224 kg

Area di superficie = 722502.005043 mm²

- Rispetto al Sistema di coordinate globale :

Centro della massa : X = -0.000000 mm

Y = 545.000000 mm

Z = -8.559918 mm

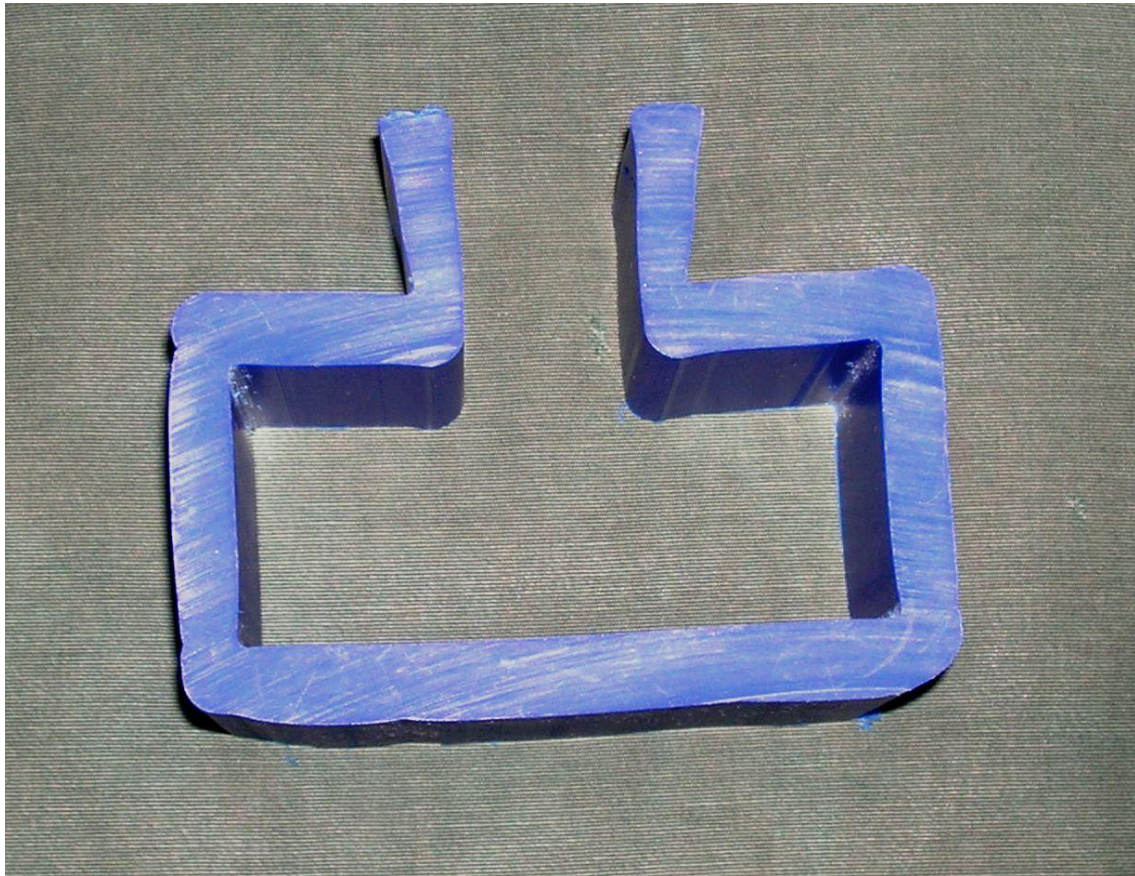
Centro del volume : X = -0.000000 mm

Y = 545.000000 mm

Z = -8.559918 mm

Momento di inerzia : $I_{xx} = 1.314262 \text{ kg-m}^2$
 $I_{yy} = 0.006707 \text{ kg-m}^2$
 $I_{zz} = 1.315948 \text{ kg-m}^2$
 $I_{xy} = -0.000000 \text{ kg-m}^2$
 $I_{xz} = 0.000000 \text{ kg-m}^2$
 $I_{yz} = -0.015452 \text{ kg-m}^2$

Figura 17 – Sezione della Guida in HDPE



4.2 Controllo Qualità

4.2.1 Controllo Dimensionale

Al termine della produzione si è provveduto ad effettuare l'analisi dimensionale del profilo, tale studio si è svolto impiegando un proiettore ottico per profili avente una risoluzione grafica pari al millesimo di millimetro ed ingrandimento massimo di 10X; per verifica le stesse misure sono state controllate con un calibro avente le seguenti specifiche tecniche

CALIBRO HOLEX
campo di misura 0-150 mm
accuratezza 0,03 mm
lettura 0,01 mm

Ivi sono riportate in 3 tabelle le misurazioni prese su 3 campioni distinti. Le tabelle presentano 4 colonne : Disegno (misura da progetto), Reale (misura dell'estruso), ϵ (differenza rispetto alla tolleranza), Tolleranza da disegno (tolleranza imposta).

Tabella 15,16,17 - Controllo Qualità

Disegno [mm]	Reale [mm]		ϵ [0,1 mm]		Tolleranze da disegno	
60	60,6		0,6		0,2	-0,4
9	9		0		0,2	-0,2
109	108,6	107,1 interno	-0,4	-1,9	0,2	-0,4
9	8,8		-0,2		0,2	-0,2
r10	\		\		0,3	-0,3
11	10,7		-0,3		0,1	-0,1
r5	\		\		0,5	-0,5
r1	\		\		0	-0,5
38	38,6	36,9 interno	0,6	-1,1	0,3	-0,3
86	84,3	\	-1,7		1	-1
r1,2	\		\		1	-1
7°	\		\		0,5	-0,5
34	34,1		0,1		0,3	-0,3
41,5	41,4		-0,1		0,4	-0,4

Disegno [mm]	Reale [mm]		$\varepsilon[0,1 \text{ mm}]$		Tolleranze da disegno	
60	60,5		0,5		0,2	-0,4
9	9,1		0,1		0,2	-0,2
109	108,5	107,4 interno	-0,5	-1,6	0,2	-0,4
9	8,8		-0,2		0,2	-0,2
r10	\		\		0,3	-0,3
11	10,8		-0,2		0,1	-0,1
r5	\		\		0,5	-0,5
r1	\		\		0	-0,5
38	38,4	37,1 interno	0,4	-0,9	0,3	-0,3
86	84,6	\	-1,4		1	-1
r1,2	\		\		1	-1
7°	\		\		0,5	-0,5
34	34,2		0,2		0,3	-0,3
41,5	41,5		0		0,4	-0,4

Disegno [mm]	Reale [mm]		$\varepsilon[0,1 \text{ mm}]$		Tolleranze da disegno	
60	60,2		0,2		0,2	-0,4
9	9,1		0		0,2	-0,2
109	108,7	107,5 interno	-0,3	-1,5	0,2	-0,4
9	8,9		-0,1		0,2	-0,2
r10	\		\		0,3	-0,3
11	10,9		-0,1		0,1	-0,1
r5	\		\		0,5	-0,5
r1	\		\		0	-0,5
38	38,2	36,9 interno	0,2	-1,1	0,3	-0,3
86	84,5	\	-1,5		1	-1
r1,2	\		\		1	-1
7°	\		\		0,5	-0,5
34	34,3		0,3		0,3	-0,3
41,5	41,2		0,2		0,4	-0,4

ATTENZIONE : I valori segnalati in rosso sono i valori critici che non risultano essere a norma.

Al fine di assicurare l'accettabilità o meno del campione, valutando ciascun lato precedentemente misurato, si è impostata un'analisi statistica con Minitab; in particolare si è cercato di valutare ciascun lato secondo la funzione "Acceptance Sampling by Variables - Accept/Reject Lot".

Tale funzione definisce l'accettabilità del lotto secondo una serie di parametri che sono stati impostati in input:

- Limite superiore di specificazione (limite massimo calcolato con la tolleranza)
- Limite inferiore di specificazione (limite minimo valutato con la tolleranza)
- K- value (distanza critica/massima dal valore di progetto)

Di seguito è esposta l'analisi "Acceptance Sampling by Variables - Accept/Reject Lot"

Make Accept or Reject Decision Using **60**

Sample Size	3
Mean	60,4333
Standard Deviation	0,208167
Lower Specification Limit (LSL)	59,6
Upper Specification Limit (USL)	60,2
Z.LSL	4,00320
Z.USL	-1,12090
Critical Distance (k Value)	0,4
Maximum Standard Deviation (MSD)	0,317407

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using **109**

Sample Size	3
Mean	108,6
Standard Deviation	0,1
Lower Specification Limit (LSL)	108,6
Upper Specification Limit (USL)	109,2
Z.LSL	0,0000000
Z.USL	6

Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,372607

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using **9**

Sample Size 3
Mean 9,06667
Standard Deviation 0,0577350
Lower Specification Limit (LSL) 8,8
Upper Specification Limit (USL) 9,2
Z.LSL 4,61880
Z.USL 2,30940
Critical Distance (k Value) 0,1
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,270796

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using **11**

Sample Size 3
Mean 10,8
Standard Deviation 0,1
Lower Specification Limit (LSL) 10,9
Upper Specification Limit (USL) 11,1
Z.LSL -1
Z.USL 3
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,124202

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using **38**

Sample Size 3
Mean 38,4
Standard Deviation 0,2
Lower Specification Limit (LSL) 37,7
Upper Specification Limit (USL) 38,3

Z.LSL 3,5
Z.USL -0,5
Critical Distance (k Value) 0,4
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,317407

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using **86**

Sample Size 3
Mean 84,4667
Standard Deviation 0,152753
Lower Specification Limit (LSL) 85
Upper Specification Limit (USL) 87
Z.LSL -3,49149
Z.USL 16,5846
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 1,24202

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using **34**

Sample Size 3
Mean 34,2
Standard Deviation 0,1
Lower Specification Limit (LSL) 33,7
Upper Specification Limit (USL) 34,3
Z.LSL 5
Z.USL 1
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,372607

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using **41,5**

Sample Size 3
Mean 41,3667

Standard Deviation 0,152753
Lower Specification Limit (LSL) 41,1
Upper Specification Limit (USL) 41,9
Z.LSL 1,74574
Z.USL 3,49149
Critical Distance (k Value) 0,3
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,457637

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using *109 interno*

Sample Size 3
Mean 107,333
Standard Deviation 0,208167
Lower Specification Limit (LSL) 108,6
Upper Specification Limit (USL) 109,2
Z.LSL -6,08487
Z.USL 8,96718
Critical Distance (k Value) 0,4
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,317407

Decision: Reject lot.

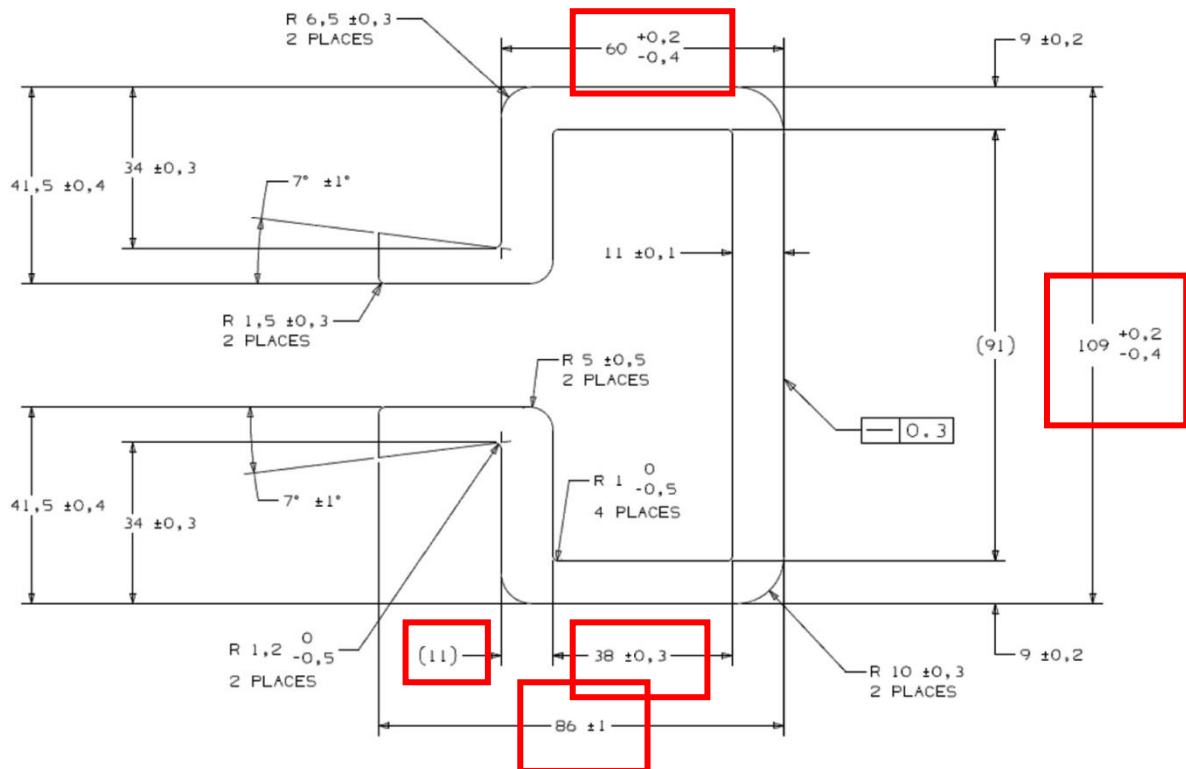
Make Accept or Reject Decision Using *38 interno*

Sample Size 3
Mean 36,9667
Standard Deviation 0,115470
Lower Specification Limit (LSL) 37,7
Upper Specification Limit (USL) 38,3
Z.LSL -6,35085
Z.USL 11,5470
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,372607

Decision: Reject lot.

Dall'analisi risulta chiaramente che molti lati presentano delle misure fuori tolleranza e per averne una miglior cognizione sono segnalate in figura 18.

Figura 18 – Valori Fuori Tolleranza



4.2.2 Controllo Visivo

L'ultimo controllo, di carattere visivo, è stato effettuato al fine di valutare la colorazione, la superficie interna ed esterna della guida; ad un attento esame si è osservato che la superficie interna non presentava alcuna deformazione o ondulazione, mentre la superficie esterna era stata segnata dagli effetti indotti dal ritiro. Per quanto concerne la colorazione non sono state riscontrate particolari discrepanze rispetto al campione standard.

4.3 Problematiche

Dall'analisi si è colto che i lati maggiormente segnati ed influenzati dal ritiro post estrusione sono stati quelli esterni non soggetti a dei vincoli strutturali durante il raffreddamento in vasca. Tale deformazione, accentuata dal ritiro in prossimità dei raggi di raccordo, è inoltre evidenziata da una leggera bombatura dei lati da 60 mm e dalla contrazione del profilo verso il baricentro della sezione.

Consapevoli delle problematiche riscontrate in fase di produzione si è inoltrato il lotto prodotto al cliente che, dopo un periodo di studio, lo ha accettato in deroga evidenziando le problematiche già segnalate durante il controllo qualità.

A supporto di questo vi sono l'immagine 19 e 20 che mostrano i principali difetti della guida prodotta con il primo collaudo.

Figura 19 – Effetti del Ritiro e Della Contrazione Strutturale.

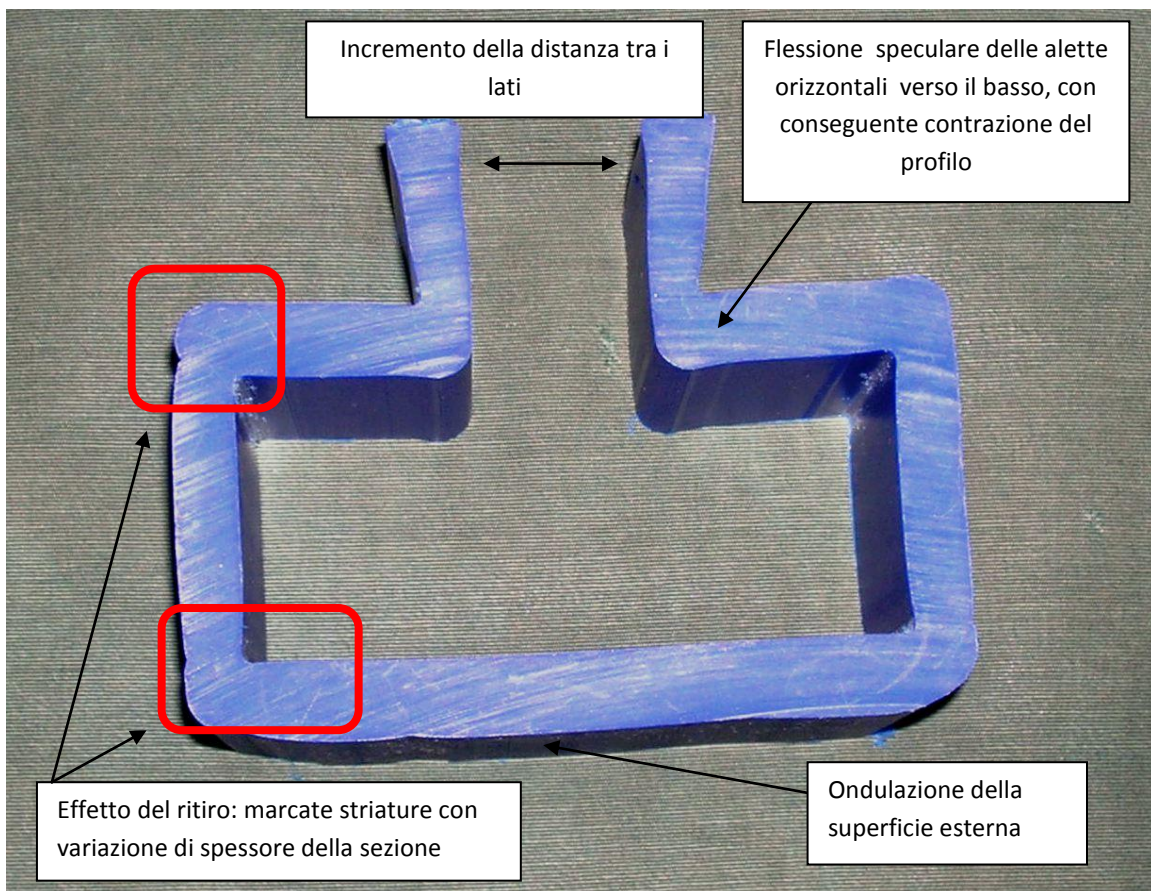
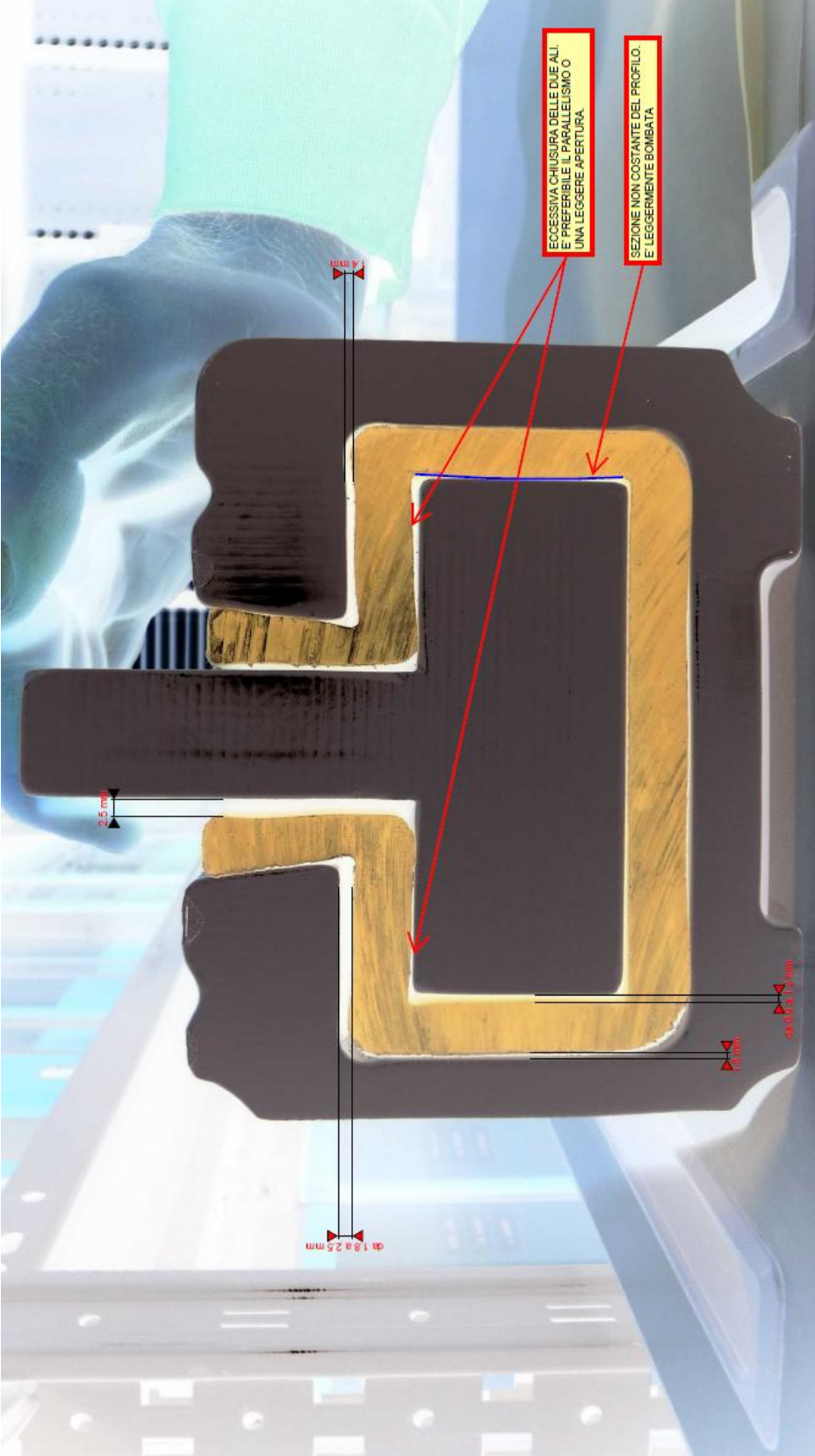


Figura 20 – Guida Posta fra Due Masselli in Acciaio



Dalla prima produzione si è chiaramente manifestata la necessità di implementare il processo produttivo al fine di migliorare con profitto le dimensioni degli spessori della guida e ridurre il più possibile l'effetto del ritiro; fermo restando che il polimero impiegato non sarà modificato in itinere si è deciso di modificare il processo di raffreddamento.

5. Produzione Profilo (2° parte)

5.1 Secondo Collaudo

Come accennato in precedenza si è optato per una modificazione del processo di produzione, consistente nel raffreddare il polimero in vasca aperta facendolo semplicemente scorrere lungo la guida di sostegno.

Tale guida, presentando al suo interno un condotto per l'acqua, avrà lo scopo di raffreddare il più omogeneamente possibile le facce interne della guida in Lupolen ed evitarne il grippaggio.

La decisione di non raffreddare le facce esterne con getti diretti ad acqua trova risposta nel tentativo di ridurre il più possibile la contrazione volumetrica della guida e nel limitare il ritiro in prossimità dei raggi di curvatura, cercando di evitare forti variazioni di temperatura che spingerebbero un eccessivo ritiro della massa polimerica.

Questa scelta potrebbe però implicare la formazione di un marcato gradiente termico superficiale con la conseguente formazione di striature ed ondulazione delle facce sottoposte a questo fenomeno.

5.1.2 Preparazione Estrusore e Produzione

Definito il principale cambiamento al processo si è provveduto ad un nuovo collaudo impiegando ovviamente il granulo del Lupolen 5021 DX, parzialmente riciclato, e riproponendo l'estrusione nello stesso estrusore utilizzato per il primo collaudo, ovvero l' F63/3 (tabella18) .

Tabella 18 – Condizioni di Estrusione

ESTRUSORE F63/3									
ZONE									
170 °C	175°C	195°C	200°C	200°C	190°C	175°C	170°C	175°C	170°C
ESTRUSORE			convogliatore			piastra uscita			
alimentazione	transizione	dosaggio							

GIRI VITE	66
ASS. MOTORE	38

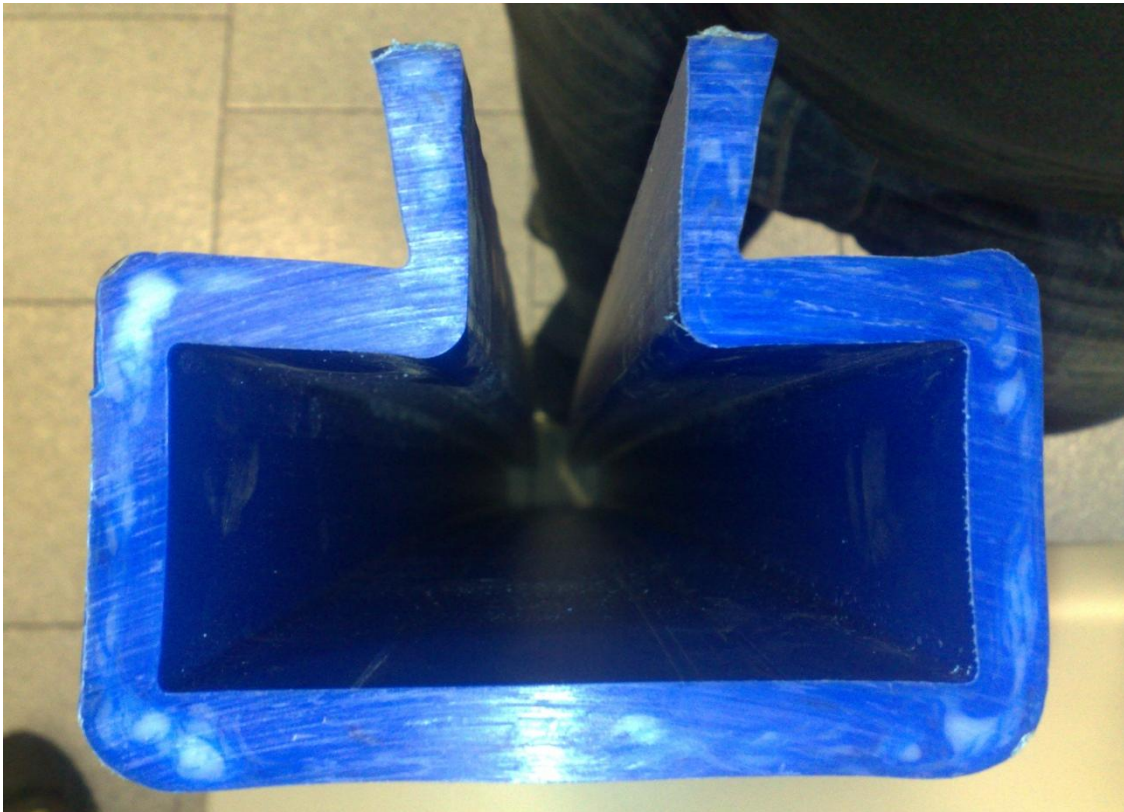
Calibri vuoto	50	mm hg
Calibri pressione	3	bar
Temperatura H ₂ O	15	°C

Dopo aver stabilizzato l'estrusore, è stato introdotto nella tramoggia il polimero che, all'uscita della filiera, verrà fatto avanzare alla velocità di 30 cm/min e presenterà una portata reale di circa 50,94 Kg/h. Perfezionata l'estrusione della guida senza l'aggiunta di alcun additivo si è proceduto all'inserimento nella tramoggia del *batch blu* funzionale alla colorazione della guida (2 %).

Figura 21 – Vista sezione guida



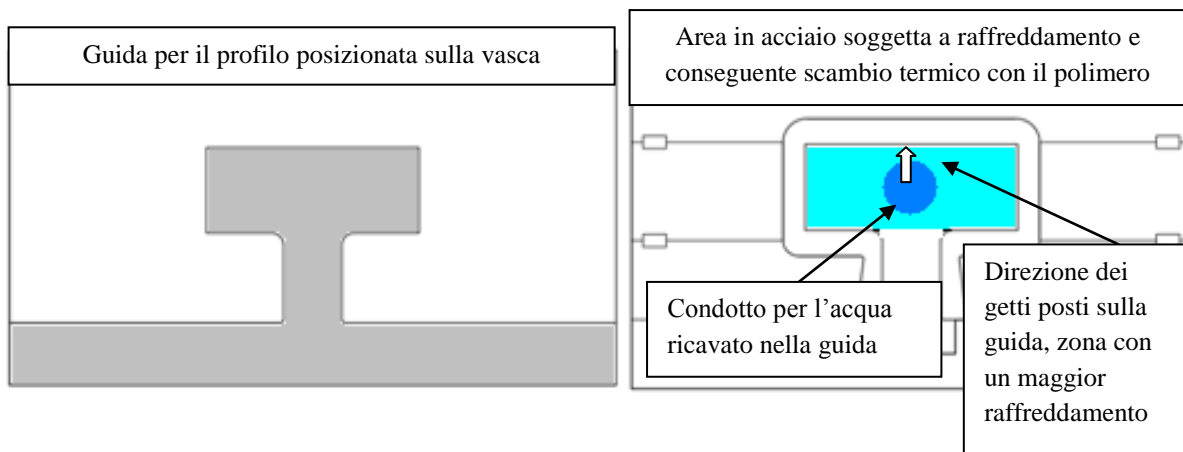
Figura 22 – Vista Frontale Guida



5.1.2.1 Controllo Termico Superficiale

Durante la produzione è stato svolto un controllo termico del lato da 109 mm della guida per controllare il gradiente termico generato dalla mancanza di un raffreddamento delle pareti esterne. Difatti come segnalato dalla figura 23 si può notare che l'area sottoposta ad un raffreddamento diretto, superato il sistema dei calibratori, è solamente data dalla guida di scorrimento posizionata all'interno della vasca.

Figura 23 - Aree soggette al raffreddamento dopo i calibratori



Come visibile in figura è palese che un tale sistema di raffreddamento comporti delle marcate differenze di temperatura specialmente sulle facce esterne o comunque nelle aree lontane dai getti d'acqua .

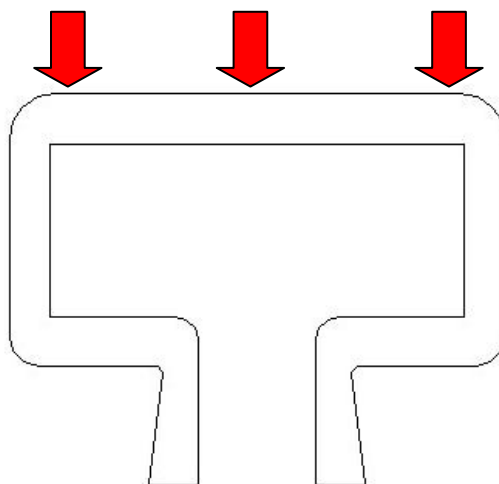
Per valutare sul lato maggiore queste differenze si è deciso di rilevare la temperatura della guida in varie fasi del processo di estrusione sfruttando un sensore ad infrarossi,

Testo 830-T1, avente le seguenti caratteristiche:

<u>Caratteristiche</u>	<u>Dati</u>
Unità di misura	°C/ °F
Campo di misura IR	-30 a + 400 °C
Risoluzione IR	0,5°C
Precisione IR	±1,5°C (0 a +400 °C) ± 2 °C (-30 a 0 °C)
Emissività	Da 0,2 a 1 regolabile
Frequenza di misura	0,5 s
Ottica	10:1 ²
Puntamento	1 x laser

La misurazione della temperatura è stata effettuata in 3 punti del profilo: estremo destro, centro, estremo sinistro (segnalati in figura 24).

Figura 24 – Punti di Misurazione



Di seguito sono elencate le misurazioni effettuate (tabella 19).

Tabella 19 – Misurazioni Gradiente Termico Superficiale

Zone di misurazione									
uscita filiera °C		uscita calibratori °C		metà vasca °C		uscita vasca °C		prima del taglio °C	
centro	lati	Centro	lati	centro	lati	centro	lati	centro	lati
178,5	178,5	78	80	58	77	28	54	28	29
179	179	78	80	60	77	27	57	28	30
178	178	75	82	51,5	76,5	26	53	27,5	28
178,5	178,5	79	80,5	59	80,5	28	58	28	31
179	179	77,5	81,5	56,5	83,5	28,5	60	28,5	31
177	177	78,5	79,5	58	82,5	28,5	58	29	31
177,5	177,5	80	81	55	79,5	29	58,5	29,5	31
177,5	177,5	79	82	56	83	30	59	31	32,5

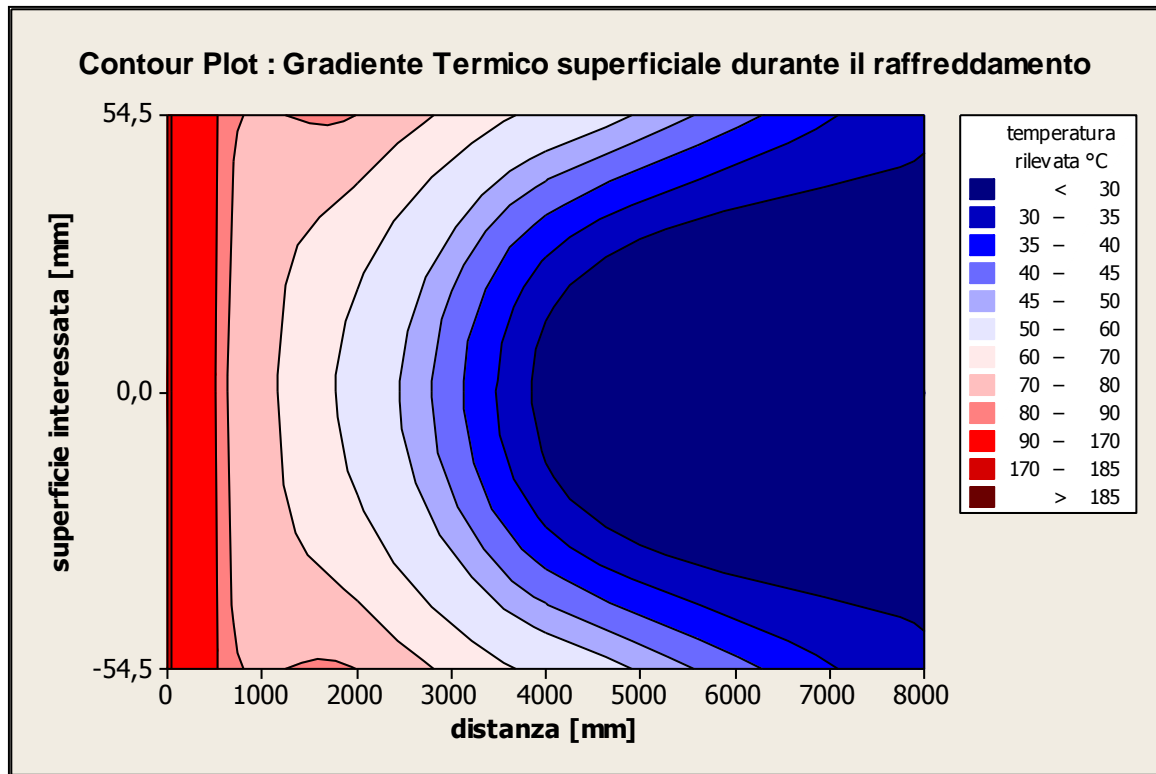
Considerando i dati raccolti durante l’estrusione è chiaro che il sistema di raffreddamento imposto dai calibratori e dalla guida interna alla vasca ha generato un marcato gradiente termico superficiale sulla guida; infatti si coglie che l’intervallo di temperatura tra il centro del profilo e gli estremi cresce drasticamente lungo il processo di estrusione, sino ad una distensione prima di giungere al taglio.

In particolare si coglie un marcato ΔT all’uscita della vasca. (Tabella 20)

Tabella 20 – ΔT Medio nelle Varie Zone

	ΔT uscita filiera °C	ΔT uscita calibratori °C	ΔT metà vasca °C	ΔT uscita vasca °C	ΔT prima del taglio °C
	0	2	19	26	1
	0	2	17	30	2
	0	7	25	27	0,5
	0	1,5	21,5	30	3
	0	4	27	31,5	2,5
	0	1	24,5	29,5	2
	0	1	24,5	29,5	1,5
	0	3	27	29	1,5
Media	0	2,6875	23,1875	29,0625	1,75

Figura 25 – Gradiente Termico Superficiale Durante il Raffreddamento



Come conseguenza di questo spiccato gradiente termico superficiale, ben visibile dalla figura soprastante, saranno ipotizzabili delle più o meno marcate ondulazioni delle facce esterne e quindi delle striature dovute allo stress termico indotto.

La produzione si è protratta sino al taglio di un nuovo lotto costituito da 25 pezzi aventi ciascuno una lunghezza pari a 1180 mm ed un peso al metro di 2,83 Kg/m.

5.2 Controllo Qualità

Anche in questo caso il controllo qualità si è suddiviso in controllo dimensionale e controllo visivo.

5.2.1 Controllo Dimensionale

Completata l'estrusione si è proceduto al controllo dimensionale del lotto al fine di garantire l'omogeneità del prodotto; il test è stato effettuato utilizzando il proiettore ottico ed il calibro Horex utilizzati per il controllo qualità del primo collaudo.

Tabelle 22,23,24 – Controllo Qualità

disegno	reale		ε[0,1 mm]		tolleranze	
60	60,5	59,4	0,5	-0,6	0,2	-0,4
9	9,1		0,1		0,2	-0,2
109	108,7		-0,3		0,2	-0,4
9	9		\		0,2	-0,2
r10	\		\		0,3	-0,3
11	11,1		0,1		0,1	-0,1
r5	\		\		0,5	-0,5
r1	\		\		0	-0,5
38	38,3		0,3		0,3	-0,3
86	85,7		-0,3		1	-1
r1,2	\		\		1	-1
7°	\		\		0,5	-0,5
34	34,3	34,9	0,3	0,9	0,3	-0,3
41,5	41,3	41,7	-0,2	0,2	0,4	-0,4

disegno	reale		ε[0,1 mm]		tolleranze	
60	60,2	60	0,2	\	0,2	-0,4
9	8,9		-0,1		0,2	-0,2
109	108,6	108,2	-0,4	-0,8	0,2	-0,4
9	8,9		-0,1		0,2	-0,2
r10	\		\		0,3	-0,3
11	10,9	\	-0,1		0,1	-0,1
r5	\		\		0,5	-0,5
r1	\		\		0	-0,5
38	38,5	38	0,5	\	0,3	-0,3
86	85,6	85,8	-0,4	-0,2	1	-1
r1,2	\		\		1	-1
7°	\		\		0,5	-0,5
34	34,4	34,7	0,4	0,7	0,3	-0,3
41,5	41	41,4	-0,5	-0,1	0,4	-0,4

disegno	reale		ε[0,1 mm]		tolleranze	
60	60,6	59,6	0,6	-0,4	0,2	-0,4
9	9		\		0,2	-0,2
109	108,6	108,4	-0,4	-0,6	0,2	-0,4
9	9		\		0,2	-0,2
r10	\		\		0,3	-0,3
11	11		\		0,1	-0,1
r5	\		\		0,5	-0,5
r1	\		\		0	-0,5
38	38,4	37,7	0,4	-0,3	0,3	-0,3
86	85,5		-0,5		1	-1
r1,2	\		\		1	-1
7°	\		\		0,5	-0,5
34	34,4	34,8	0,4	0,8	0,3	-0,3
41,5	41,3	41,6	-0,2	0,1	0,4	-0,4

Come si evince dalle tabelle, le quote delle sezioni analizzate presentano dei valori molto più prossimi alle tolleranze imposte dal progetto e perciò, come riscontrato anche dallo studio statistico 'Acceptance Sampling by Variables' svolto con Minitab, la guida risulta decisamente più accettabile rispetto alla prima produzione; infatti l'errore ϵ è più ridotto o comunque riguarda prevalentemente zone localizzate delle facce interne.

Make Accept or Reject Decision Using **60**

Sample Size	3
Mean	60,4333
Standard Deviation	0,208167
Lower Specification Limit (LSL)	59,6
Upper Specification Limit (USL)	60,2
Z.LSL	4,00320
Z.USL	-1,12090
Critical Distance (k Value)	0,4
Maximum Standard Deviation (MSD)	0,317407

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using **9**

Sample Size 3
Mean 9
Standard Deviation 0,1
Lower Specification Limit (LSL) 8,8
Upper Specification Limit (USL) 9,2
Z.LSL 2
Z.USL 2
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,248405

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using **109**

Sample Size 3
Mean 108,633
Standard Deviation 0,0577350
Lower Specification Limit (LSL) 108,6
Upper Specification Limit (USL) 109,2
Z.LSL 0,577350
Z.USL 9,81495
Critical Distance (k Value) 0,1
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,406194

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using **9_1**

Sample Size 3
Mean 8,96667
Standard Deviation 0,0577350
Lower Specification Limit (LSL) 8,8
Upper Specification Limit (USL) 9,2
Z.LSL 2,88675
Z.USL 4,04145
Critical Distance (k Value) 0,1
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,270796

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using *11*

Sample Size 3
Mean 11
Standard Deviation 0,1
Lower Specification Limit (LSL) 10,9
Upper Specification Limit (USL) 11,1
Z.LSL 1
Z.USL 1
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,124202

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using *38*

Sample Size 3
Mean 38,4
Standard Deviation 0,1
Lower Specification Limit (LSL) 37,7
Upper Specification Limit (USL) 38,3
Z.LSL 7
Z.USL -1
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,372607

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using *86*

Sample Size 3
Mean 85,6
Standard Deviation 0,1
Lower Specification Limit (LSL) 85
Upper Specification Limit (USL) 87
Z.LSL 6
Z.USL 14

Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 1,24202

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using **34**

Sample Size 3
Mean 34,3667
Standard Deviation 0,0577350
Lower Specification Limit (LSL) 33,7
Upper Specification Limit (USL) 34,3
Z.LSL 11,5470
Z.USL -1,15470
Critical Distance (k Value) 0,1
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,406194

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using **41,5**

Sample Size 3
Mean 41,2
Standard Deviation 0,173205
Lower Specification Limit (LSL) 41,1
Upper Specification Limit (USL) 41,9
Z.LSL 0,577350
Z.USL 4,04145
Critical Distance (k Value) 0,3
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,457637

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using **60 interno**

Sample Size 3
Mean 59,6667
Standard Deviation 0,305505
Lower Specification Limit (LSL) 59,6
Upper Specification Limit (USL) 60,2

Z.LSL 0,218218
Z.USL 1,74574
Critical Distance (k Value) 0,6
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,274393

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using *109 interno*

Sample Size 2
Mean 108,3
Standard Deviation 0,141421
Lower Specification Limit (LSL) 108,6
Upper Specification Limit (USL) 109,2
Z.LSL -2,12132
Z.USL 6,36396
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,372607

Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using *38 interno*

Sample Size 2
Mean 37,85
Standard Deviation 0,212132
Lower Specification Limit (LSL) 37,7
Upper Specification Limit (USL) 38,3
Z.LSL 0,707107
Z.USL 2,12132
Critical Distance (k Value) 0,3
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,343228

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using *86 interno*

Sample Size 2
Mean 85,9
Standard Deviation 0,141421

Lower Specification Limit (LSL) 85
Upper Specification Limit (USL) 87
Z.LSL 6,36396
Z.USL 7,77817
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 1,24202

Decision: Accept lot.

Make Accept or Reject Decision Using *34 interno*

Sample Size 3
Mean 34,8
Standard Deviation 0,1
Lower Specification Limit (LSL) 33,7
Upper Specification Limit (USL) 34,3
Z.LSL 11
Z.USL -5
Critical Distance (k Value) 0,2
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,372607

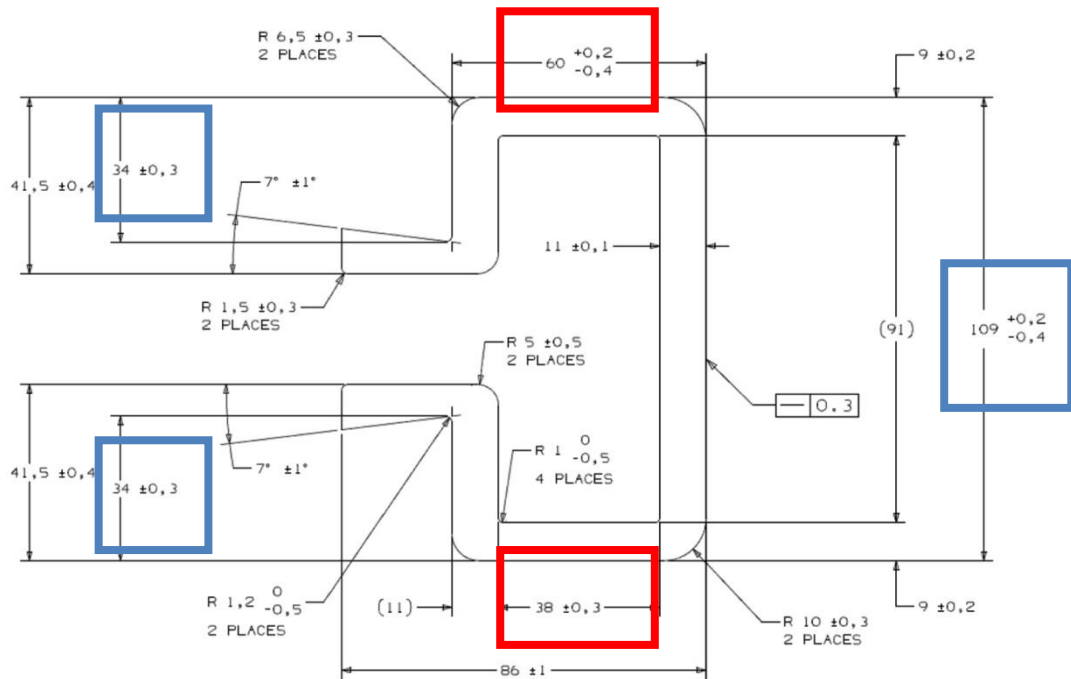
Decision: Reject lot.

Make Accept or Reject Decision Using *41,5 interno*

Sample Size 3
Mean 41,5667
Standard Deviation 0,152753
Lower Specification Limit (LSL) 41,1
Upper Specification Limit (USL) 41,9
Z.LSL 3,05505
Z.USL 2,18218
Critical Distance (k Value) 0,3
Maximum Standard Deviation (MSD) 0,457637

Decision: Accept lot.

Figura 24 - Quote non Accettabili



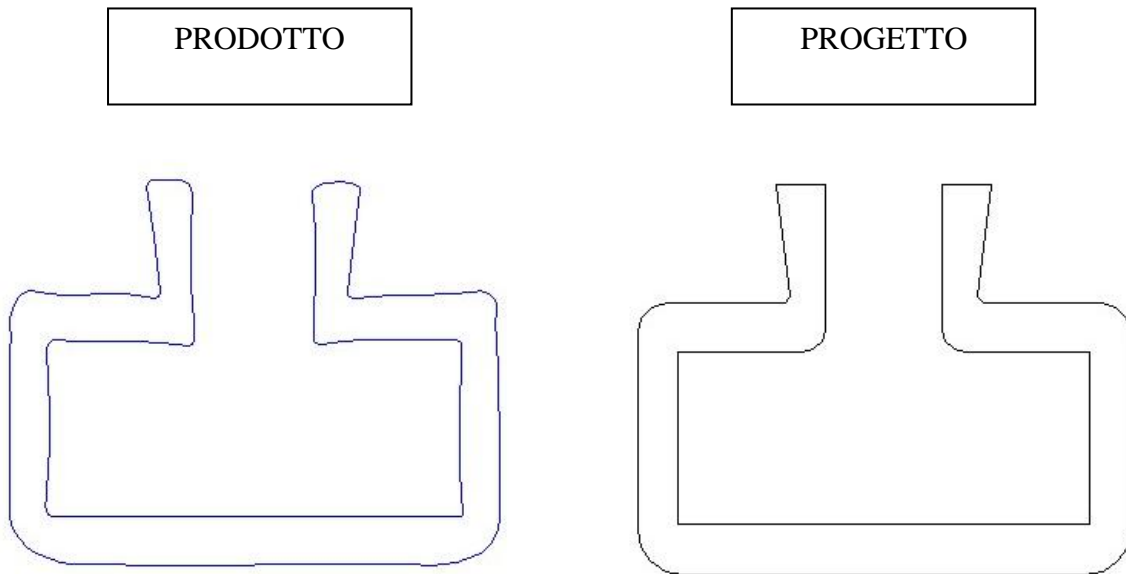
Le quote globalmente non accettabili sono cerchiare in rosso

Le quote parzialmente non accettabili sono cerchiare in blu

Il profilo ha dunque subito, rispetto al primo collaudo, un marcato miglioramento che ne garantirebbe l'accettazione da parte del cliente.

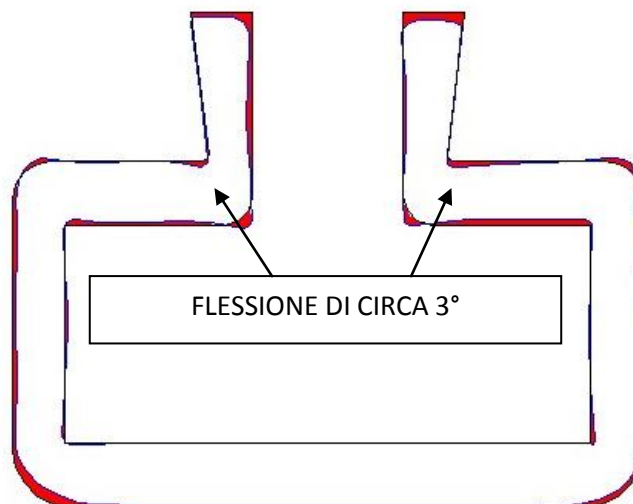
Al fine di certificare al meglio la corrispondenza del profilo prodotto con il progetto è stato svolto un controllo virtuale mediante " Solid Edge " per individuare le principali differenze rintracciabili a livello dimensionale (Figura 24,25).

Figura 24 – Sezioni della Guida Prodotta e Progettata



Sovrapponendo le due sezioni possiamo cogliere i principali difetti riscontrabili al termine della produzione.

Figura 25 – Sovrapposizione delle due sezioni



In rosso è evidenziata la ‘luce’ tra le due sezioni , osservando con attenzione si può notare la mancanza di massa polimerica in prossimità dei raggi di curvatura della base inferiore (109 mm), la diversa altezza dei due profili determinata dal ritiro delle alette superiori e la flessione delle alette orizzontali (34 mm) che si approssima intorno ai 3 °.

5.2.2 Controllo Visivo

L'ultimo controllo effettuato è stato di carattere visivo ed ha messo in luce alcuni dei difetti che si erano già intuiti in fase di produzione quali le striature e l'ondulazione delle facce esterne (figure 26,27,28).

Figura 26- Striature

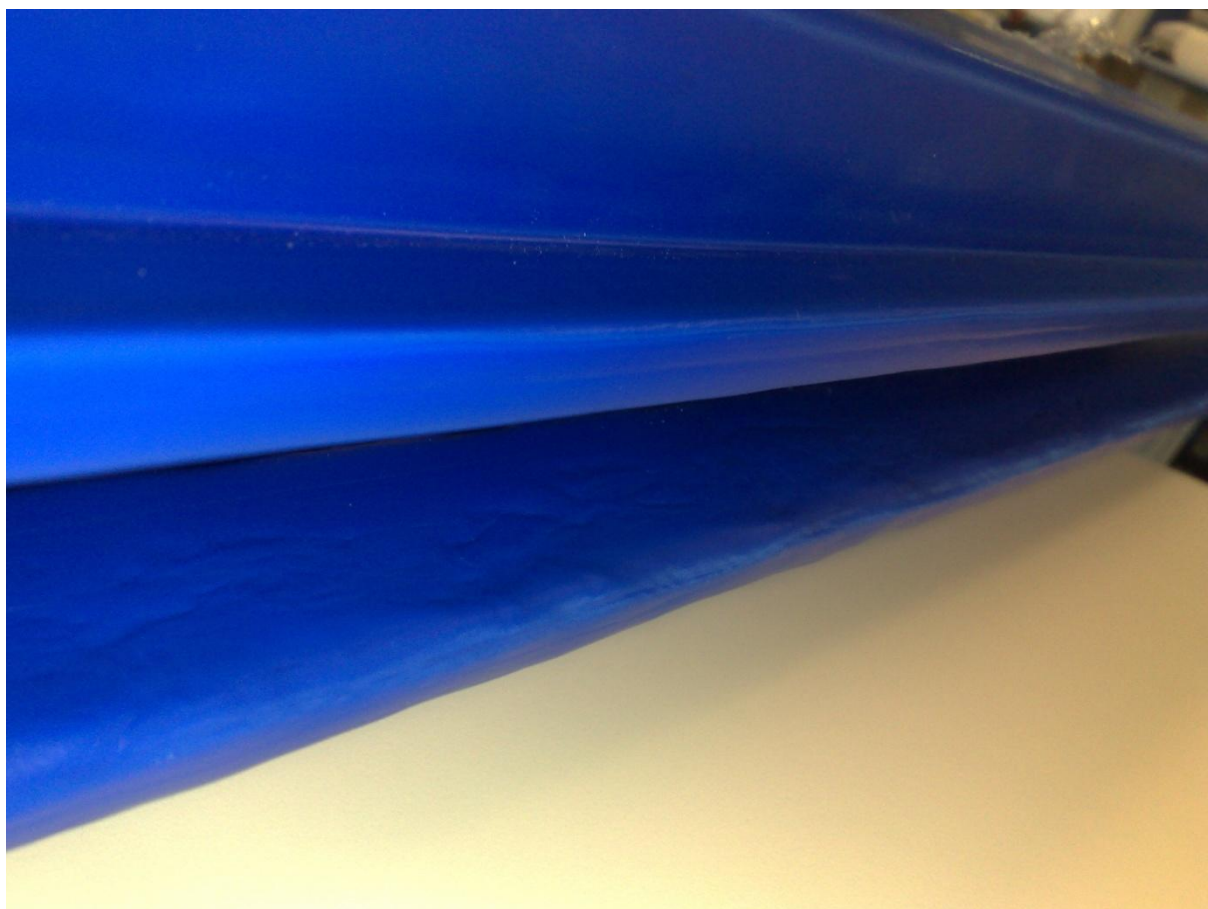


Un ulteriore difetto riscontrato riguarda lo scarso miscelamento del pallets di polietilene all'interno dell'estrusore, che ha comportato la presenza di particolari segni lungo il profilo (probabilmente dovuti a delle particelle rimaste bloccate nei calibri) ed aree caratterizzate da disomogeneità di massa.

Figura 27– Segni Sequenziali



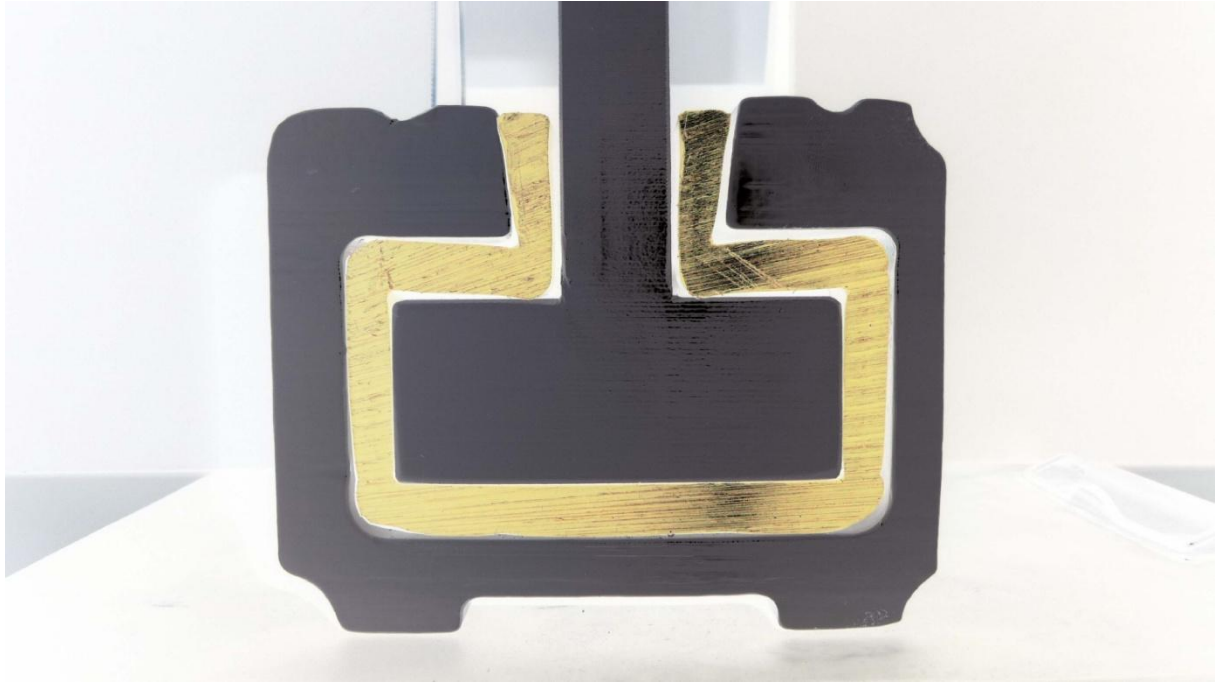
Figura 28 – Disomogeneità di Massa



5.3 Considerazioni sulla Produzione

Conclusa la seconda produzione si può affermare che la scelta di ottimizzare il processo di raffreddamento, limitandolo alle facce interne della guida durante il passaggio in vasca, è stata positiva in quanto a livello dimensionale si è riusciti ad ottenere delle quote decisamente migliori e soprattutto si è limitato l'effetto di contrazione della guida (Figura 29).

Figura 29 - Guida posta tra 2 masselli in acciaio



D'altra parte l'eccessivo gradiente termico, generatosi sulle facce esterne del profilo, ha determinato la presenza di antiestetiche striature per tutta la lunghezza della guida ed a questo si è aggiunto il problema che parte del materiale non si è appropriatamente amalgamato all'interno dell'estrusore, causando delle spiccate disomogeneità di massa in alcune aree della guida.

Quest'ultimi elementi però non inficiano tutta la produzione che, per tale ragione, potrà essere accettata sotto deroga.

L'ultimo passo sarebbe quello di verificare anche il comportamento in esercizio della guida per accertarne la resistenza a fatica, ma questo sarà un problema che interesserà le produzioni future.

CONCLUSIONI

Al termine di questi due collaudi, svolti alla distanza di circa un mese l'uno dall'altro si può affermare che il processo di estrusione ha subito un netto miglioramento e la produzione della guida ne ha beneficiato sotto molti aspetti.

E' comunque doveroso ricordare che l'estrusione non è una scienza perfetta e dunque non è possibile preventivare con certezza il comportamento del materiale a causa della moltitudine di variabili che entrano in gioco, quali il comportamento dell'estrusore, le temperature di utilizzo, la tipologia di filiera, la reologia del fluido, la temperatura dell'acqua impiegata nella fase di raffreddamento ...

Tale imprevedibilità risulta di difficile soluzione anche per le principali multinazionali di software per lo studio di polimeri, poiché quest'ultime non hanno nessun programma in grado di simulare un processo di estrusione con una discreta sicurezza.

Sulla base di queste constatazioni è possibile supporre che il processo in esame potrebbe ulteriormente migliorarsi provvedendo al raffreddamento, con dei getti d'acqua, delle aree soggette ad un marcato gradiente termico al fine di ridurre se non eliminare le striature; è comunque importante ricordare con particolare attenzione che un eccessivo impiego di H₂O causerebbe il ritiro volumetrico del polimero e/o l'eccessiva flessione dei lati.

Il problema della flessione è di difficile soluzione in quanto è strettamente legato al comportamento del fluido, perciò una compensazione del problema in itinere è alquanto complessa: una soluzione sarebbe quella di modificare sia la filiera che i calibratori variando i raggi di curvatura (per omogeneizzare gli spessori) e viziando l'attrezzatura in modo tale da aumentare leggermente l'apertura delle alette. Inoltre potrebbe rivelarsi migliorativo stuccare i vuoti sui raggi per evitare disomogeneità termiche tra superficie interna ed esterna. E' implicito che queste modifiche comporterebbero un' ulteriore crescita dei costi dell'attrezzatura.

Per quanto concerne il problema delle disomogeneità nel polimero sarà sufficiente cambiare il lotto di pallets impiegato ed evitare di utilizzare, per questa particolare produzione, il granulato riciclato.

Da quanto detto risulta evidente che l'implementazione del processo non comporta il miglioramento simultaneo dell'aspetto estetico e dimensionale. Difatti un perfezionamento estetico della guida studiata non darà direttamente dei vantaggi a livello dimensionale poiché essa sarà sempre influenzata, per gli spessori in gioco, dal fenomeno del ritiro o comunque da problematiche riguardanti il suo raffreddamento; per tale ragione le quote ottenute potranno approssimarsi con buon esito alle quote di progetto, ma difficilmente saranno in toto accettabili secondo le tolleranze imposte.

BIBLIOGRAFIA

- www.dotmar.com.au/coefficient-of-friction.html
- www.dotmar.com.au/wear-resistance.html
- ANTEC' 97, Volume 3, Society of Plastic Engineers, CRC press 1997 (pag. 3296)
- Standard pressure-volume-temperature data for polymers, Paul Zoller e David J. Walsh, CRC press 1995 (pag 39).

RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo lavoro mi sento in obbligo di ringraziare, con tutto il cuore, VBN Tecno, per la disponibilità con la quale ha cercato, grazie a tutti i suoi membri, di garantirmi un'esperienza formativa e lavorativa ricca di soddisfazioni; nello specifico, vorrei esprimere la mia più sincera gratitudine al mio responsabile aziendale, Rizzardi Luca ed al sig. Vazzoler Marcello per aver permesso al sottoscritto di svolgere questo tirocinio.

Ringrazio sentitamente la Dott.ssa Brusatin Giovanna per aver accettato di farmi da relatrice e soprattutto per la pazienza e disponibilità dimostrata nei miei confronti in tutti questi mesi.

Per concludere dedico questa tesi a mia madre Patrizia, a mio padre Fiorenzo, a mia sorella Elisa, al buon Toby ed a tutti coloro i quali mi sono stati vicini in questi anni, rassicurandomi, distraendomi (qui merita una citazione speciale il duo Marco&Luca) e spronandomi a dare il massimo sempre e comunque nonostante le difficoltà.

Grazie.