

**POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in  
Ingegneria Meccanica



**TECNICA FUSORIA DI PRESSOCOLATA  
PER LEGHE DI ALLUMINIO:  
OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO E DEL WARM-UP.**

Relatore: Prof. Elisabetta GARIBOLDI

Co-relatore: Dott. Ing. Roberto DUTTO, Ing. Carmine DEL GROSSO

Tesi di Laurea di:

Angelo Enrico Maria  
MIGLIERINA Matr. 635899

Anno Accademico 2008 - 2009

*A mia madre, a mio padre, a mio fratello,  
ai miei amici, ai compagni di università  
ed a tutti quanti hanno creduto in me e mi hanno sostenuto  
dall'inizio alla fine.  
Un'ultima dedica a mia nonna che non c'è più tra noi  
ma che fino all'ultimo ha sognato  
la mia laurea.*

*“Molti sono di questa oppenione,  
che l’arte de metalli sia cosa di fortuna e,  
come si dice, nasca da la sorte,  
e che ella sia un mestiere molto sporco,  
il quale habbia vie più bisogno di fatica che d’ingegno, e di sapere.  
Ma quando io la vengo ben fra me stesso discorrendo,  
et tutte le sue parti minutamente esaminado,  
a me pare che la cosa,  
di grand lunga sia altrimenti.”*

GIORGIO AGRICOLA (1494-1555), “De Re Metallica”

*“Colare alla temperatura più bassa possibile  
nel più breve tempo possibile.”*

PRIMA REGOLA DELLA FONDERIA

*“...in Europa le richieste dell’industria automobilistica di particolari realizzati  
in Alluminio crescono continuamente: di media in ciascun nuovo veicolo  
prodotto ci sono 120 Kg di getti realizzati in lega di Alluminio e la crescita è del  
7÷8% annua, [omissis].*

*L’industria dell’auto assorbe circa il 75% delle fusioni in Alluminio e più del  
70% viene colato tramite la pressofusione...”*

IL SOLE 24 ORE (14 dicembre 2009)

## **RINGRAZIAMENTI**

I ringraziamenti vanno a:

- Tutto il personale della ALMEC S.p.A., Nusco (AV) ed in particolare: Dott. Ing. Roberto Dutto, Ing. Carmine Del Grosso, Sig. Salvatore De Vito, Sig. Michele Tammaro, Sig. Antonio Ucci, Sig. Fulvio Ciccarese.
- Tutto il personale della RIFOMETAL Spa, Nusco (AV) ed in particolare: Dott. Dino Madaro, Sig. Angelo Biancaniello, Sig. Marcello Di Genua.
- Dott. Ing. Manuel Callegari, BUHLER Ag, Uzwill (CH).
- Sig. Massimo Miglierina, Dott. Franco Miglierina, OMNIA TECNO Srl, Gallarate (VA).
- *Un ringraziamento particolare e sentito va all'amico Vito Carbonara, collega durante i mesi di tirocinio e prezioso sostegno del lavoro di tesi.*



# Indice Generale

<b>Sommario, Parole chiave</b>	9
<b>Introduzione</b>	11
<b>1. Lega</b>	15
1.1. Introduzione	15
1.2. Lega primaria e secondaria	15
1.3. Rottame	17
1.4. Carica rottame	18
1.4.1. Procedimento di raffinazione sotto sale	20
1.5. Colata	21
1.6. Trattamenti metallurgici	22
1.7. Approvvigionamento	26
1.8. Forni	29
1.8.1. Forni fusori	29
1.8.2. Forno fusorio Flexifire®	33
1.8.3. Forni di mantenimento	36
1.8.4. Forno di attesa	37
1.8.5. Forno dosatori	38
1.8.6. Analisi dei costi di fusione	40
1.9. Trasferimento della lega alle isole	41
1.10. Filtrazione	43
1.11. Esempio di ciclo produttivo in una raffineria	44

<b>2. Isola di lavoro</b>	<b>45</b>
2.1. Introduzione	45
2.2. Unità	46
2.3. Fasi	53
<b>3. Ottimizzazione dell'avviamento (warm-up)</b>	<b>61</b>
3.1. Introduzione	61
3.2. Definizione della fase di avviamento	61
3.3. Procedura tradizionale di avviamento	62
3.4. Monitoraggio degli avviamenti con procedura tradizionale	63
3.5. Definizione degli intervalli	65
3.6. Nuova procedura di avviamento	66
3.7. Monitoraggio degli avviamenti con nuova procedura	68
3.8. Monitoraggio temperature fase avviamento con nuova procedura	72
3.9. Sviluppi futuri sulla fase di avviamento	73
<b>4. Ottimizzazione del tempo ciclo</b>	<b>75</b>
4.1. Introduzione	75
4.2. Composizione funzionale delle isole	75
4.3. Attuale procedura di gestione del tempo ciclo	76
4.4. Nuova didattica delle fasi e dei tempi	78
4.5. Aggregazione del tempo ciclo	81
4.5.1. Influenza e classificazione dei vincoli	83
4.6. Approccio metodologico all'ottimizzazione	85
4.7. Tipi di intervento	89
4.7.1. Classe degli interventi di modifica	89
4.7.2. Classe degli interventi di riduzione	90
4.7.3. Classe degli interventi di compressione	91
4.8. Creazione di una check list degli interventi	91
4.9. Scelta e priorità degli interventi	95

<b>5. Ottimizzazione di processo</b>	<b>97</b>
5.1. Monitoraggio del processo	97
5.1.1. Influenza dell'operatore	98
5.2. Analisi dei dati	99
5.2.1. Cause di fermi	101
5.3. Gestione della manutenzione	104
5.3.1. Risoluzione standard dei fermi	107
5.4. Analisi di performance: l'OEE	107
5.5. Composizione delle inefficienze	109
<b>6. Gruppo Iniezione</b>	<b>111</b>
6.1. Introduzione	111
6.2. Contenitore	111
6.2.1. Scelta del materiale	111
6.2.2. Ciclo di lavorazione	112
6.2.3. Trattamenti termici	113
6.2.4. Contenitore tradizionale	115
6.2.5. Contenitore integrale	117
6.2.6. Contenitore termoregolato	118
6.2.7. Analisi delle dilatazioni e delle deformazioni	122
6.2.8. Verifiche dei criteri di qualità	124
6.3. Pistone	125
6.3.1. Scelta del materiale	125
6.3.2. Ciclo di lavorazione e meccanica pistoni in lega di rame	128
6.3.3. Raffreddamento e lubrificazione	129
6.3.4. Scelta del diametro del pistone	130
6.3.5. Pistone in acciaio con anelli in lega di rame	131
6.4. Stelo	134
6.4.1. Caratteristiche costruttive	134

<b>7. Stampo</b>	135
7.1. Introduzione	135
7.2. Lavoro termico dello stampo	136
7.3. Trasferimenti di calore	137
7.3.1. Gradiente termico	139
7.4. Equilibrio termico	141
7.5. Influsso del tempo ciclo sull'asportazione di calore	143
7.6. Divisione del pezzo in sezioni termiche	144
7.7. Degrado tecnologico degli stampi	145
7.8. Componentistica per stampi	149
7.9. Cenni di progettazione	150
<b>8. Lubrificazione</b>	151
8.1. Introduzione	151
8.2. Funzioni della lubrificazione	151
8.3. Meccanismo di formazione del film	156
8.4. Degrado e distruzione del film	159
8.5. Asciugatura del lubrificante ed evacuazione dell'aria	161
8.6. Sistemi di lubrificazione automatici	162
8.6.1. Selezione di un impianto di lubrificazione	164
8.7. Materiali per la lubrificazione	164
8.7.1. Lubrificanti in polvere	166
8.8. Serbatoi ed impianti di miscelazione	168
8.9. Polverizzazione delle emulsioni	169
8.10. Tecniche di spruzzatura	171
8.10.1. Caratteristiche dello spruzzo	172
8.10.2. Apparecchiature per la spruzzatura automatica	174
8.11. Realizzazione dei cicli di lubrificazione	175
8.12. Procedure di lubrificazione evolute	177

8.12.1. Analisi termografiche	177
8.13. Esercizio e manutenzione del sistema di lubrificazione	180
8.13.1. Influenza delle acque industriali	182
<b>9. Finitura</b>	<b>185</b>
9.1. Tranciatura automatica	185
9.2. Controlli dopo la tranciatura	186
9.3. Presbavatura	186
9.4. Prove di tenuta	187
9.5. Timbratura	188
9.6. Granigliatura	189
9.7. Sbavatura	190
9.8. Trattamenti termici	190
9.9. Prelavorazione meccanica ed ispezione finale	191
9.10. Imballaggio ed audit	191
<b>10. Difetti e qualità</b>	<b>193</b>
10.1. Introduzione	193
10.2. Interazioni tra struttura cristallina e caratteristiche meccaniche	194
10.3. Contenuto di gas nei pressofusi	196
10.4. Difetti legati alla lega fusa	196
10.4.1. Formazione della scoria	196
10.4.2. Porosità da gas	197
10.4.3. Punti duri	198
10.5. Classificazione dei difetti	198
10.5.1. Difetti interni	198
10.5.2. Difetti superficiali	200
10.5.3. Difetti di geometria	201

<b>11. Tecnologie innovative</b>	203
11.1. Introduzione	203
11.2. Leghe da pressofusione innovative	203
11.3. Trattamenti termici	204
11.3.1. Trattamenti senza solubilizzazione	204
11.3.2. Trattamenti con solubilizzazione	205
11.4. Tecniche per il ricoprimento superficiale	205
11.5. Varianti al classico processo di pressofusione	206
<b>Conclusioni</b>	207
<b>Bibliografia</b>	209

## **SOMMARIO**

Questo lavoro è stato sviluppato nell'ambito di uno stage aziendale durato 7 mesi presso una importante fonderia di pressocolata di leghe di Alluminio, la ALMEC Spa di Nusco (AV) .

Obiettivi del lavoro, concordati con la azienda, erano i seguenti:

- fornire le indicazioni che il personale avrebbe utilizzato in seguito in fase di formazione;
- stendere uno standard interno sulla gestione della pressocolata, uniformando tutte le procedure relative alle fasi di warm-up;
- indicare i criteri per l'ottimizzazione dei tempo-ciclo, applicandoli ad un caso concreto.

La tesi è stata scritta, tenendo presente il primo obiettivo, analizzando il normale ciclo produttivo, seguendo il flusso cronologico della materia prima (dal rottame al particolare finito) e spiegando il funzionamento dei principali macchinari e delle relative periferiche impiegati nelle isole di lavoro.

L'attenzione maggiore è stata poi posta alla ottimizzazione dell'avviamento o warm-up (capitolo 3) e alla ottimizzazione del tempo ciclo e del processo fusorio (capitoli 4-5). In questi capitoli sono anche stati valutati nuovi e diversi approcci effettuando sperimentazioni sugli impianti durante la produzione ed è stata individuata la migliore procedura di avviamento macchina e di gestione del processo con il fine di ottenere una maggior produttività.

## **PAROLE CHIAVE**

Fonderia, pressocolata, Alluminio, forni, warm-up, tempo ciclo.





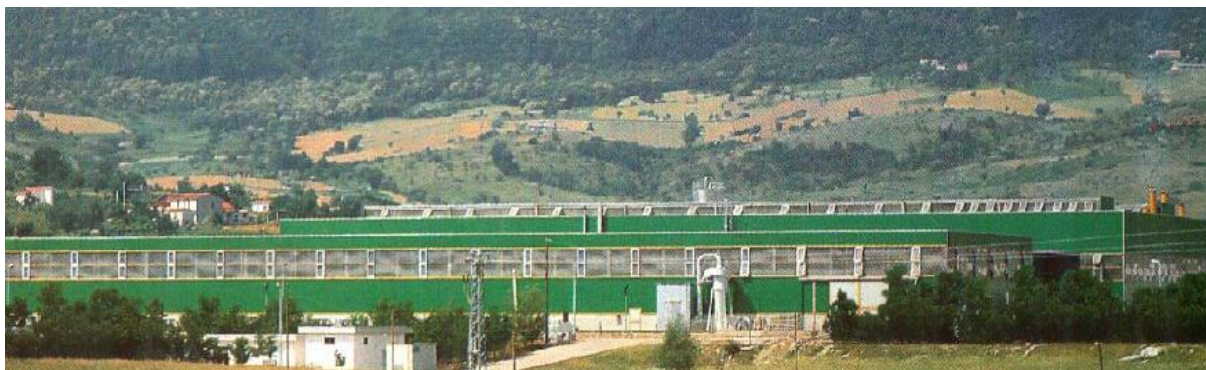
# INTRODUZIONE

Il processo di pressocolata consiste nel versare in forme permanenti d'acciaio leghe di Al, Mg, Zn allo stato liquido e trova convenienti applicazione per getti che richiedono una buona finitura superficiale, una forma complessa con discreti valori di caratteristiche meccaniche e con caratteristiche dimensionali costanti, e produzioni in serie di grandi quantità per giustificare i grossi investimenti in impianti ed attrezzature.

Il processo si divide in:

- pressofusione a camera calda, con gruppo iniezione immerso nel forno, per la fusione di leghe a basso punto di fusione e poco aggressive all'acciaio come Ottone e Zama;
- pressofusione a camera fredda, con gruppo iniezione esterno al forno, per la fusione di leghe aventi un punto di fusione relativamente alto come Al (660°C) e Mg (650°C) per realizzare getti di grandi dimensioni come ossature di plance, schienali, radiatori, oggetti di arredamento, componentistica del motore, etc.

In questo volume ci si è dedicati al processo di pressofusione a camera fredda orizzontale utilizzato presso l'azienda ALMEC S.p.A. di Nusco (AV), impegnata nella produzione di scatole cambio, scatole trasmissione e supporti motori in lega di Al.

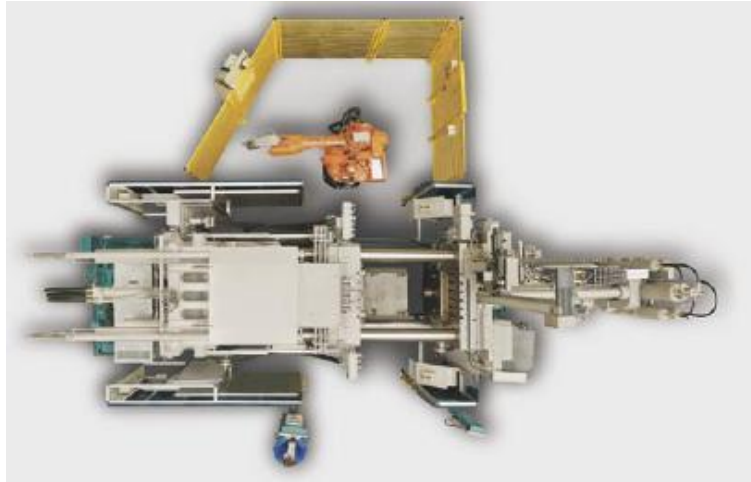


*Panoramica dello stabilimento*

Le fasi essenziali del processo fusorio si possono così riassumere:

1. riempimento dello stampo con versamento della lega fusa nel contenitore d'iniezione, iniezione del metallo nella cavità dello stampo, aumento della pressione sul metallo in fase di solidificazione;
2. fuoriuscita dell'aria dalla cavità per evitare che essa venga inglobata nel getto, dando luogo al fenomeno indesiderato della porosità;
3. solidificazione del metallo con modalità diversa secondo l'intervallo di solidificazione, temperatura del metallo, spessori del pezzo e tipo di lega;

4. estrazione del getto allorché la sua temperatura sia scesa a valori di  $250\div 350^{\circ}\text{C}$ , per evitare possibili deformazioni;
5. lubrificazione dello stampo, effettuata allo scopo di facilitare l'estrazione del pezzo, impedire la saldatura tra Al e stampo, isolare termicamente il metallo fuso durante la fase di riempimento del getto ed impedendo una solidificazioni troppo anticipata.



*Foto aerea di una isola da pressofusione*

I principali vantaggi del processo sono:

- l'iniezione è molto rapida impiegando una pressione di alimentazione elevata;
- la solidificazione è molto rapida e consente di ottenere una microstruttura fine;
- le leghe di impiego in pressocolata hanno una percentuale di Si intorno al valore eutettico e quindi sono caratterizzate da un intervallo di solidificazione limitato;
- l'economicità del singolo getto prodotto.

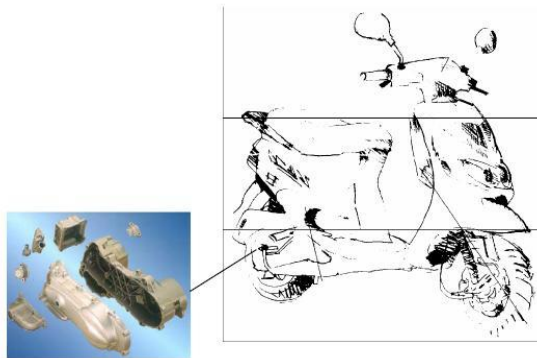
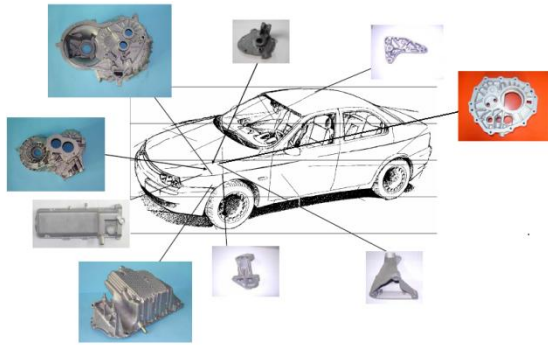
I principali svantaggi del processo sono invece:

- genesi non complessa e quindi la non possibilità di realizzare getti con angoli in sottosquadro;
- presenza nella matrice di Al di aria inglobata durante l'iniezione che può portare a caratteristiche meccaniche non elevate soprattutto per l'allungamento.

Quest'ultima caratteristica ha come effetto negativo la non possibilità di effettuare sui getti presso colati successivi trattamenti termici che richiedano il riscaldamento oltre i  $300^{\circ}\text{C}$ . Infatti all'aumentare della temperatura la bolla di gas rimasta imprigionata nella superficie solida a volume costante subisce un aumento di pressione e contemporaneamente le caratteristiche della lega

diminuiscono: la concomitanza di questi due fenomeni può causare la frattura di pareti di pori adiacenti e dare origine a delle microfessure, che possono ridurre la vita dei componenti sollecitati.

Questo fenomeno è dovuto principalmente alla solubilità dell'idrogeno, presente nel vapore acqueo e nella matrice metallica in fase liquida.



*Componentistica per automotive e motoveicoli prodotta il ALMEC S.p.A.*



# 1. LEGA

## 1.1 INTRODUZIONE

La tecnologia di fusione e raffinazione della lega di Al si è sviluppata in seguito all'evoluzione del processo produttivo della fonderia; fino a qualche tempo fa non era posta particolare attenzione, se non per processi e prodotti estremamente qualificati, alla qualità metallurgica ed ai costi di fusione ma ci si focalizzava solo sulla quantità di metallo fuso. L'utilizzo dell'Al nel mercato automobilistico ha imposto di rivedere completamente la politica e la tecnica per l'ottenimento di queste leghe.

Il capitolo seguente vuole fornire una descrizione sull'arte e sulla tecnica di produzione di leghe di Al secondarie utilizzate nella pressofusione, dal parco rottame al prodotto raffinato e pronto per colare nello stampo.

Da un punto di vista metallurgico ci si concentrerà sui differenti processi fusori, sui controlli, sugli interventi correttivi e sulle analisi finali.

## 1.2 LEGA PRIMARIA E SECONDARIA

L'Al di prima fusione è ottenuto direttamente dalla riduzione elettrolitica dell'ossido di Al, che ha un titolo medio del 99,5% ma, senza trattamenti opportuni, limitate caratteristiche meccaniche; inoltre i costi di acquisto sono elevati e quindi è poco usato in applicazioni industriali.

L'Al di seconda fusione, usato invece abbondantemente per applicazioni industriali, è ottenuto dalla rifusione e dal recupero di rottami, ritagli, sfridi etc, con l'aggiunta di eventuali elementi di lega che migliorano la lavorabilità e la resistenza.

Le leghe adottate in pressocolata sono prevalentemente leghe secondarie ottenute dalla rifusione di rottami; in pressofusione è richiesto che la lega abbia come proprietà principale una temperatura di fusione inferiore ai 700°C, affinché si possano utilizzare stampi in acciaio lavorati alle macchine utensili con estrema precisione dimensionale e buona finitura superficiale.

L'impiego di leghe di Al comporta:

- ridotto intervallo di solidificazione, pari per alcuni particolari a pochi secondi, che causa un elevato ritiro durante il passaggio di stato;
- elevata affinità con l'umidità presente in atmosfera;
- elevata affinità con l'O<sub>2</sub> presente in atmosfera causando la formazione di ossidi di Al nel bagno metallurgico se questo non è protetto.

Si è deciso di prendere in considerazione due tra le molteplici leghe di Al presenti sul mercato essendo attualmente le più utilizzate in pressofusione: 46000 e

46100. Esse coprono circa l'80÷85% dei volumi di utilizzo nel mercato europeo della pressocolata.

Nomenclatura		
<b>46000</b>	UNI 5075	EN AB- $\text{AlSi9Cu3(Fe)}$
<b>46100</b>	UNI 5076	EN AB- $\text{AlSi11Cu2}$

Fig. 1.1 Corrispondenza tra le diverse nomenclature

Lega	Si	Mg	Cu	Zn	Ni	Cr	Fe	Mn
<b>46000</b>	8,0÷11,0	0,15÷0,55	2,0÷4,0	1,20 max	0,55 max	0,15 max	0,60÷1,10	0,55 max
<b>46100</b>	10,0÷12,0	0,30 max	1,5÷2,5	1,70 max	0,45 max	0,15 max	0,45÷1,00	0,55 max
Lega	Ti	Pb	Sn	Ca	Na	Sb	impurità	Al
<b>46000</b>	0,20 max	0,35 max	0,25 max	160 ppm	0,1 max	0,05 max	0,25 max	resto
<b>46100</b>	0,25 max	0,25 max	0,25 max	-	-	-	0,25 max	resto

Fig. 1.2 Specifiche delle due leghe secondo la norma UNI EN 1706

Queste leghe di Al utilizzano le stesse materie prime e sono ideali per il processo di pressocolata poiché hanno:

1. ciclo di raffinazione molto simile;
2. bassa temperatura di fusione avendo una percentuale di Si prossima all'eutettico che diminuisce la temperatura di fusione;
3. ritiro volumetrico accettabile in fase di solidificazione;
4. elevata colabilità per riempire la cavità dello stampo, riproducendo esattamente i getti richiesti con buone caratteristiche fisiche e meccaniche anche in presenza di forme o geometrie complesse e sottili;
5. una discreta resistenza meccanica a caldo che permette all'operatore di poter estrarre i getti dallo stampo ad una temperatura di 260÷290°C, maneggiarli senza incorrere in danneggiamenti di forma e sbavarli con utensili;
6. formazione di strutture eutettiche che portano alla creazione di strutture di elevata finezza utilizzando un rapido raffreddamento.
- 7.

Lega	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p02</sub> [MPa]	A%	Durezza [HB]
<b>46000</b>	220	150	1,0	85
<b>46100</b>	270	160	1,0	85

Fig. 1.3 Caratteristiche meccaniche minime delle due leghe

Consideriamo adesso i principali elementi che vanno a modificare le caratteristiche di queste leghe di Al, valutando i pro ed i contro.

La presenza del Fe (max 1,1%) rende meno aggressiva la lega di Al nei confronti degli stampi e delle altre parti in acciaio, riduce il rischio di metallizzazioni,

favorisce l'estrazione del getto e migliora la resistenza meccanica a caldo del pressocolato.

La presenza dello Zn (max 1,7%) migliora la resistenza meccanica, aumenta la lavorabilità alle macchine utensili, favorisce la plasticità ma induce il getto ad una fragilità a caldo favorendo anche la corrosione.

La presenza del Mg (max 0,3%) aumenta la durezza, accresce il carico di rottura, migliora la resistenza alla corrosione, favorisce la lavorabilità e la lucidabilità ma diminuisce la colabilità aumentando la fragilità di ritiro.

Gli altri principali elementi disciolti nel bagno di Al che devono essere maggiormente controllati durante le varie fasi sono: Si, Cu e Ca.

### **1.3 ROTTAME**

La materia prima è principalmente costituita da vecchi rottami di leghe di Al che hanno terminato il loro ciclo di vita (carter di autovetture, radiatori, cerchioni, pentolame, etc), da nuovi rottami di leghe di Al che provengono dalla fonderia (sfridi, boccame, materozze, canali di colata, etc) e da vecchi rottami di Al primario (lattine pressate).

Una prima classificazione del rottame quando arriva presso la raffineria di Al viene eseguita in accettazione, in base alla dimensione. Si distinguono in questo modo pezzature fini di Al (spezzettato, frantumato, flottato, torniture varie) da rottame di grandi dimensioni (carter, radiatori, cerchioni, pentolame, stoviglie, vasellame, lastre pressate). Di norma le aziende che raccolgono e poi vendono il rottame eseguono una preselezione ed una classificazione in modo che sia possibile acquistare il rottame desiderato già cernito.



*Fig. 1.4 Parco rottame cernito*

Con l'arrivo del rottame in raffineria e dopo la verifica del peso viene eseguito un controllo sulla qualità prelevando dei campioni ed analizzandoli, per identificare gli elementi nocivi e la composizione chimica (in gergo si parla di calo<sup>1</sup>) e quantificare la resa di fusione che corrisponde alla percentuale di prodotto finito. Queste operazioni sono eseguite in manuale da un addetto alla campionatura utilizzando dei piccoli fornelli di fusione. A partire dalle analisi eseguite e dal tipo di lega che si vuol ottenere si determina il mix di carica scegliendo tra il parco rottame disponibile i materiali opportuni nelle quantità ottimali.

Un buon parco rottame deve essere custodito in un ambiente protetto, privo di umidità e con assenza di residui oleosi; è buona norma far acclimatare all'interno della raffineria il materiale prima di inserirlo nel forno, per evitare grosse dispersioni termiche durante la carica del forno e quindi migliorare il rendimento energetico.

## **1.4 CARICA ROTTAME**

Tutti i materiali di piccola pezzatura (torniture, flottato, frantumato e spezzettato) vengono inseriti in una tramoggia e caricati in un essiccatore rotante al cui interno agisce un sistema di coclee interne per l'avanzamento del materiale. All'inizio della tramoggia inoltre è installata una griglia di sicurezza per non permettere a grossi rottami entrare nel ciclo.

La temperatura all'interno dell'essiccatore è di 150÷300°C ed è necessaria per eliminare la maggior parte dei materiali non metallici che fondono a basse temperature: vernici, oli, grassi, acqua ed inerti in questo modo vengono eliminati e non contaminano il bagno, abbassando la resa finale. I fumi che escono dall'essiccatore vengono raccolti e convogliati in un post-bruciatore che, lavorando a 850°C, riduce le componenti incombuste abbassando il potere inquinante dei fumi. Dopo l'essiccatore i rottami passano nel vibro-vagliatore dove perdono la componente polverulenta, in seguito le polveri scorrono sotto un cilindro magnetico che serve per separare le polveri di Al da quelle di Fe: è importante che le polveri di Al non entrino nel forno fusorio perché brucerebbero a contatto con il metallo fuso. I rottami vagliati scorrono sotto un altro cilindro magnetico che serve per separare gli inserti o le parti in Fe ancora presenti; in seguito si ha la caduta dei rottami vagliati e puliti nel forno fusorio. Per migliorare la produttività è possibile installare una pompa, realizzata in materiale refrattario, che crea un vortice nel metallo liquido: in questo modo i piccoli rottami appena inseriti vengono risucchiati al di sotto della superficie del metallo liquido, fondono con una velocità maggiore e non vengono a contatto con agenti ossidanti presenti nel forno.

Tutti i materiali di grossa pezzatura (carter, radiatori, cerchioni, etc) vengono invece cerniti a mano mediante controllo visivo: si separano così dal rottame parti in Fe, Cu, Inox, etc; in seguito il rottame di elevata dimensione, con l'aggiunta di

---

<sup>1</sup> Di norma il calo tra il rottame da fondere ed il prodotto finito è del ordine del 5÷6%.



materozze e canali di colata provenienti dagli scarti di fonderia, viene caricato tramite pala meccanica nel forno ad una temperatura di  $650\div 700^{\circ}\text{C}$ . L'utilizzo di forni rotativi permette di eliminare la componente di Fe utilizzando tempi e temperature di processo diversi: il Fe non riesce a fondere e quindi viene trattenuto nella scoria e non viene poi inserito nel forno fusorio.



*Fig. 1.5 Forno basculante*

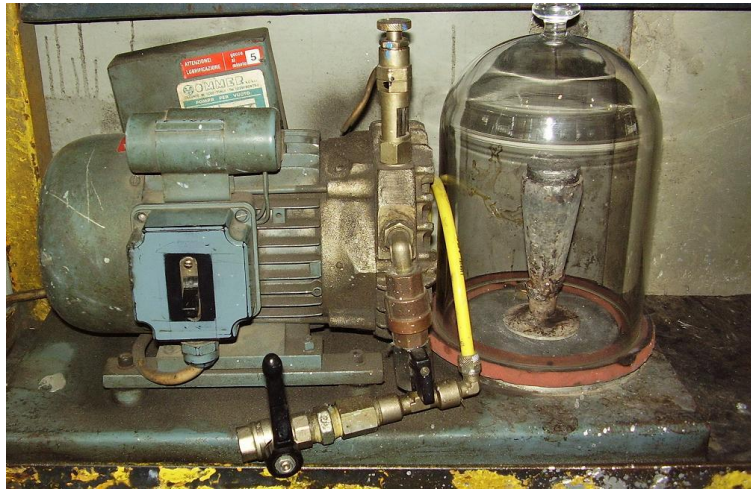
#### 1.4.1 PROCEDIMENTO DI RAFFINAZIONE SOTTO SALE

Le aziende che producono leghe di Al secondario si possono suddividere in 2 categorie a seconda che il sistema di fusione e raffinazione da loro impiegato sia sotto sale o senza sale.

Per il procedimento sotto sale si usano i forni rotativi: i rottami vengono come detto caricati in una tramoggia e poi attraverso un nastro e un condotto vibrante vengono immessi nel forno. La carica viene eseguita alternando sale copertone a rottami molto grossi e di medie dimensioni; in questa fase il bruciatore è spento ed il forno è in rotazione per mischiare il materiale. Al completamento della carica si chiude la porta, inizia la combustione con la fusione sia del sale sia del metallo. Il sale che si dispone in superficie proteggendo il bagno di metallo liquido dalla ossidazione. Quando tutto il materiale è fuso si esegue una seconda carica: in media la durata totale di queste operazioni è di 3 ore e la fase di fusione occupa circa 90 minuti; segue lo spillaggio verso un forno di attesa per le operazioni di degasaggio, affinazione, analisi chimiche con spettrometro e analisi del menisco<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Il menisco è il pelo libero di un campione di lega di Al fatto solidificare presso un contenitore incluso in una campana di vetro dentro la quale viene realizzato il vuoto. In base alla curvatura della superficie viene stimata la bontà del degasaggio.



*Fig. 1.6 Impianto per il controllo del menisco*

## 1.5 COLATA

La lega secondaria può essere fornita allo stato solido oppure allo stato liquido. Mantenere la lega allo stato liquido si hanno vantaggi energetici (risparmi sui costi di colata e di rifusione), economici (non si ha il calo di fusione) e metallurgici (si hanno meno ossidi e lega più omogenea).

Nella fornitura allo stato liquido in metallo deve arrivare ad una temperatura di circa  $720^{\circ}\text{C}$ , ammettendo che il raffreddamento durante il trasporto debba essere di massimo  $10^{\circ}\text{C/h}$ .

La colata del metallo liquido avviene con il ribaltamento del forno e la raccolta nelle siviere riscaldate in precedenza; durante questa fase il liquido può essere depurato per eliminare le inclusioni a tale fine si utilizzano filtri in materiale ceramico, in allumina, in carburi di Si o in grafite; una volta colato il metallo nella siviera è importante che essa venga chiusa prima del trasporto anche all'interno della fonderia.



*Fig. 1.7 Siviera chiusa con carrello*

La fornitura in forma solida viene effettuata colando il liquido in una lingottiera per produrre panetti da rifusione. Per realizzare i lingotti si può spillare il liquido ad una temperatura più bassa ma è necessario preriscaldare le forme dei pani per eliminare ogni traccia di umidità e per limitare sbalzi termici. I lingotti così realizzati e solidificati vengono messi in pedane e successivamente reggettati e identificati con un cartello che indica conformità e indicazioni della colata.

## 1.6 TRATTAMENTI METALLURGICI

Nel corso della fusione dei rottami si verificano reazioni chimiche e fisiche che causano l'inquinamento del bagno di Al ad opera di gas, ossidi, nitruri e carburi; tutti questi elementi influenzano la microstruttura, la velocità di raffreddamento e la composizione chimica della lega, modificando le principali caratteristiche meccaniche.

La temperatura del forno fusorio è molto importante perché tanto più è alta, tanto maggiore è la tendenza del metallo liquido ad ossidarsi ed assorbire elementi nocivi: quindi è chiaro il motivo per cui sia necessario mantenere la giusta temperatura.

Considerando questi fattori è necessario realizzare durante la fusione del rottame e la permanenza del bagno di Al allo stato liquido degli interventi per eliminare o ridurre l'inquinamento della lega; spesso in pressocolata molti difetti possono essere evitati con adeguati trattamenti metallurgici senza intervenire sui parametri macchina.

FENOMENI	CAUSE	SOLUZIONI
Reazione con umidità	Tempi di attesa eccessivi, surriscaldamenti del bagno	Degasaggio con azoto, sali, vuoto
Microcristallo grossolano	Surriscaldamenti del bagno, inquinamento da Fe	Affinazione del grano, rapidità di colata
Inquinamento da leghe esterne	Scarti estranei, mescolamento eccessivo	Maggiore distinzione nel parco rottame
Inquinamento da Fe	Surriscaldamenti del bagno, uso di attrezzi non protetti	Diluire con metallo a basso tenore di Fe
Inquinamento con ossidi	Immissione nel forno di materiale ossidato o con alto rapporto superficie/volume	Maggior controllo della carica da inserire nel forno
Sedimentazione di elementi pesanti	Tempi di attesa eccessivi	Spillare il metallo da un'altezza superiore, movimentare il bagno

*Fig. 1.8 Principali fenomeni inquinanti cause e soluzioni*

#### TRATTAMENTI DI MODIFICA

La cosiddetta “modifica” delle leghe consiste nell’impiegare particolari elementi chimici in modo da modificare la morfologia della fase Si che altrimenti formerebbe placchette con notevole effetto di intaglio. La modifica della lega in termini chimico-fisico agisce ampliando l’intervallo di solidificazione ed è più efficace quanto maggiore è la percentuale di Si prossima a quella dell’eutettico (11,7%).

Questa azione modifica la struttura aciculare che tende ad acquisire il Si durante la solidificazione e che espone la lega alla formazione di croste indesiderate, porosità grossolane, ricalo, diminuzione della lavorabilità e calo delle proprietà meccaniche.

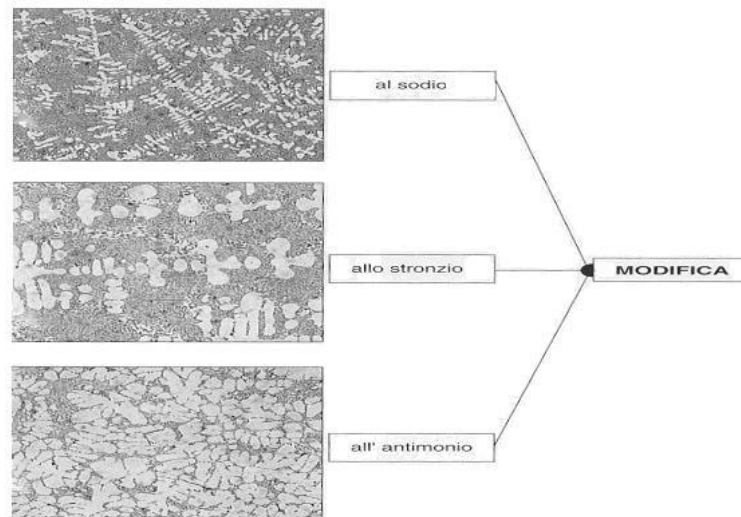


Fig. 1.9 Micrografia dopo i trattamenti di modifica per lega 46000

Le caratteristiche che traggono più vantaggio da questa operazione sono la riduzione del ritiro, la maggior lavorabilità meccanica (in quanto non si hanno cristalli di Si grandi e duri) ed il miglioramento delle caratteristiche meccaniche (in particolare la resistenza a trazione e l'allungamento).

Gli elementi modificanti maggiormente utilizzati sono: Sr, Sb e Na.

La modifica al Na, in passato, era la più usata: il Na viene aggiunto nel bagno, poco prima di colare, in quantità di 35÷80 ppm ma la sua azione dura pochi minuti (max 30 minuti). I moti turbolenti che vengono creati servono per uniformare la distribuzione ma possono portare all'inglobamento di gas da parte della lega.

La modifica allo Sr ha un'azione più duratura nel tempo (3÷5 ore) e tale elemento viene aggiunto in quantità maggiori con un intervallo di 150÷500 ppm.

Oggi possiamo dire che esistono in commercio leghe che vengono chiamate pre-modificate: esse sono caratterizzate dalla presenza in lega di Na-Sr

#### TRATTAMENTI METALLURGICI PREVENTIVI

I trattamenti preventivi hanno lo scopo di proteggere ed impedire l'ossidazione del metallo liquido durante la permanenza nel forno; questa operazione avviene grazie alla formazione di una barriera liquido-gassosa che impedisce il contatto tra il bagno e l'aria evitando così la contaminazione da agenti estranei.

I più comuni trattamenti coprenti si ottengono con flussi salini a base di miscele di criolite, cloruri alcalini e fluoruri; queste miscele hanno un basso peso

specifico e un'elevata fluidità, proprietà che determinano un'ottima protezione contro l'aria.

#### TRATTAMENTI METALLURGICI DEPURANTI DISOSSIDANTI

Le leghe di Al si ossidano con facilità sia allo stato solido sia allo stato liquido, formando un sottile e compatto film che d'altro canto ha la funzione di proteggere da un'ulteriore ossidazione; durante le fasi di travaso dal forno alla siviera e viceversa questo film potrebbe rompersi annullando la funzione conservativa e quindi altre particelle di ossido si formerebbero ed intrappolerebbero nel bagno liquido.

Si è pertanto giunti a formulare un processo per eliminare gli ossidi (il peggiore è l'allumina) trasformandoli in composti facilmente separabili dal metallo fuso o riducendoli. Questo processo avviene aggiungendo al bagno miscele di appositi sali, insufflando gas inerte, per facilitare la risalita degli ossidi, ed agitando meccanicamente il liquido per favorire il più possibile la distribuzione dei disossidanti.

I sali disossidanti per le leghe di Al sono in prevalenza costituiti da cloruri e fluoruri, che reagiscono con gli ossidi di Al formando sali complessi. Questi ultimi hanno elevati punti di fusione, galleggiano in superficie nel bagno di metallo fuso e non si agglomerano rimanendo allo stato di leggera polvere grigiastra. In entrambi i casi le reazioni avvengono fra un liquido (depurante fuso) e le placchette di ossido  $Al_2O_3$  presenti in fase solida distinta.

La fase successiva consiste nell'eliminazione della scoria che ha intrappolato gli ossidi al proprio interno, intervenendo meccanicamente.

Affinché i depuranti reagiscano efficacemente è necessario che la temperatura del metallo sia sufficientemente elevata e tale da superare il punto di fusione del prodotto impiegato; generalmente i fornitori di queste miscele saline indicano la temperatura di impiego.

#### TRATTAMENTI METALLURGICI DEPURANTI DEGASANTI

Le leghe di Al a contatto con l'atmosfera reagiscono chimicamente con l'idrogeno presente, il quale tende ad entrare in soluzione con il bagno liquido: infatti gli atomi di idrogeno sono solubili in fase liquida e non in fase solida.

L'idrogeno è un gas che ha anche una buona solubilità nelle leghe di Al allo stato liquido tuttavia durante la solidificazione la quantità in eccesso viene espulsa dai cristalli in formazione, si concentra e resta in forma molecolare causando forti pressioni. Si formano delle bolle distribuite nella massa del getto che diminuiscono le caratteristiche tecnologiche (possibilità di trattamenti termici, saldabilità) e le caratteristiche meccaniche (allungamento percentuale, durezza e resistenza meccanica).

Il processo di degasaggio per eliminare l' $H_2$  consiste nell'inserire gas inerti (Ar, N) nel bagno utilizzando lance sommerse o setti porosi sul fondo, che creano delle bolle veicolanti l' $H_2$  verso la superficie. Il degasaggio è migliore se il flusso di gas crea delle bolle di piccolo diametro.





*Fig. 1.10 Trattamento di degasaggio in siviera con setto poroso*

In questi ultimi anni si stanno diffondendo come impianti degasanti lance rotanti con ugelli sulle lame per diffondere i gas inerti: sono dei sistemi molto affidabili ed efficienti. La verifica del funzionamento del processo avviene attraverso l'analisi di campioni solidificati sottovuoto e la misura della densità con la bilancia di Archimede.

Lega	Prova	Durata degasaggio [min]	Densità [g/cm <sup>3</sup> ]
46000	1	0	2,33
46000	2	4	2,65
46000	3	6	2,67
46100	4	0	2,34
46100	5	4	2,69

*Fig. 1.11 Confronto sulle densità rilevate tramite bilancia di Archimede*

#### TRATTAMENTI METALLURGICI DI AFFINAZIONE

Le leghe di Al possono essere trattate per ottenere una microstruttura che garantisca caratteristiche meccaniche elevate operando sull'affinazione del grano a livello metallurgico. L'obiettivo di questo trattamento è di poter ottenere durante la solidificazione una struttura cristallina molto fine; una struttura grossolana ha minori caratteristiche meccaniche e maggior tendenza alla formazione di risucchi e cricche a caldo.

Il trattamento di affinazione, chiamato anche di nucleizzazione, consiste nel modificare la struttura cristallina che viene a formarsi durante il processo di solidificazione; a fine trattamento i cristalli si presentano molto più fini e con una matrice molto più serrata di quella che si otterrebbe con una solidificazione naturale senza interventi esterni. L'affinamento della microstruttura fornisce

caratteristiche meccaniche (durezza, resistenza a trazione, snervamento etc) molto superiori alla lega non affinata.

Le leghe che vengono affinate sono quelle che hanno un intervallo di solidificazione molto alto (4÷5 min) e che vengono usate nei processi a gravità; di solito nelle leghe per la pressocolata, poiché la solidificazione avviene in tempi brevissimi, non è indispensabile il trattamento di affinazione visto che si ottiene già una struttura cristallina abbastanza fine. Tuttavia se dovessero essere richieste delle caratteristiche meccaniche elevate, in zone massicce o in getti di grosso spessore o in presenza di borchie di fissaggio, un trattamento di affinazione può essere eseguito e portare dei grossi miglioramenti qualitativi.

Gli elementi affinantivi maggiormente usati per le leghe sono il boro (B) ed il titanio (Ti) con aggiunte nell'ordine dello 0,15% per entrambi gli elementi sotto forma di pastiglie oppure di sali fluoro-titanati e fluoro-borati che promuovono l'enucleazione di un elevato numero di grani all'interno del liquido consentendo l'ottenimento di una struttura affinata.

Comunque in pressofusione il modo più semplice per ottenere l'affinazione del grano è far avvenire la solidificazione nel modo più rapido possibile.

## **1.7 APPROVVIGIONAMENTO**

Le fonti di approvvigionamento delle leghe di Al di una fonderia di pressofusione possono essere:

1. approvvigionamento di lingotti certificati: all'arrivo dei pani, di circa 7 Kg di peso ciascuno ed in cataste di circa 1000 Kg regettate e fasciate con film di plastica, viene verificato il peso rispetto a quello dichiarato sul documento di trasporto; si effettua in reparto un controllo dell'analisi chimica prima della fusione attraverso un test su un provino, sezionato e lucidato da un lingotto, utilizzando lo spettrometro ottico. Nel caso in cui i lingotti non superino il controllo si rifiuta la lega che viene stoccata in un'area asciutta per limitare il più possibile l'esposizione all'umidità presente nell'aria. In deroga si può accettare fino al 3% delle forniture settimanali che non superano il controllo, non consecutive, per ciascun fornitore di pani.





*Fig. 1.12 Parco lingotti in lega 46000*

2. approvvigionamento di lega liquida: circa il 50÷60% del fabbisogno potrebbe arrivare mediante lega liquida. Il materiale viene trasportato con appositi camion e consegnato in siviere isolanti della capacità variabile di 7÷17 t; prima dell'accettazione si deve controllare il peso dichiarato sul documento di trasporto, la temperatura (670÷770°C), la composizione chimica attraverso campioni prelevati da una siviera analizzati con lo spettrometro ed il controllo dei gas disciolti attraverso micrografie e controlli visivi su provini solidificati sotto vuoto. Il pelo del bagno che si forma nella siviera deve essere solo costituito dal naturale film di ossido di alluminio che fornisce una certa auto-protezione al materiale liquido; per verificare ciò è necessario che la siviera sia dotata di una bocchetta di ispezione.



*Fig. 1.13 Approvvigionamento lega liquida*

3. Scarti interni e ritorni dalle linee: per questi specifici lotti, costituiti da scarti interni di processo e scarti derivanti dalle linee di lavorazione del cliente, la lega è già certificata ma è necessario controllare che i getti non abbiano impurità liquide come oli minerali e lubrificanti di lavorazione meccanica e che non abbiano inserti di acciaio o in altri metalli come dime, raccordi, tappi etc, che inquinano la composizione chimica del bagno.



*Fig. 1.14 Scarti interni*

L'informativa di non accettabilità viene inviata al grossista di materia prima; la fonderia in alcuni casi può eseguire operazioni per sanare la non conformità ma i costi per tali operazioni saranno a carico del fornitore. In generale non sono accettate forniture con particelle radioattive: questa verifica viene eseguita secondo la legislatura nazionale in vigore utilizzando contatori Gayger sui pani presenti in magazzino.

Per ottenere un miglioramento qualitativo ed una riduzione dei costi si deve stabilire un rapporto di collaborazione duraturo e di fiducia tra il fornitore della lega ed la fonderia. Il ricorso a laboratori esterni qualificati avviene in caso di grosse contestazioni di analisi chimiche: i costi dovuti a tali analisi sono a carico di chi è competente sulla non conformità della lega.

La professionalità di un fornitore viene valutata anche in base alla presenza di una scorta di sicurezza , conservata presso la propria sede, per una eventuale consegna nel caso di un rifiuto di una normale fornitura.

## 1.8 FORNI

Dopo che la lega è stata certificata secondo le caratteristiche definite dalla norma si procede a curare attentamente la carica delle batterie dei forni, generalmente costituite da un forno fusorio ed uno di attesa.



*Fig. 1.15 Batteria forni*

### 1.8.1 FORNI FUSORI

#### FORNO A RIVERBERO

Il forno a riverbero è utilizzato nella produzione di grossi tonnellaggi di Al; la capacità è di 15÷50t e la velocità di fusione è di 2÷6t/h. Il calore prodotto dalla combustione di gas metano è riflesso dalla volta e diretto verso il bagno all'interno del forno: il calore si trasferisce per radiazione dai refrattari e per convezione dai gas caldi prodotti dalla combustione. La temperatura della volta può arrivare a 1000°C ed il metallo fuso a 750°C.





*Fig. 1.16 Forno fusorio di grosso tonnellaggio*

Al suo interno può essere installata una pompa che agita il contenuto del bagno, omogeneizzandolo ed incrementando la produttività; le scorie devono essere eliminate con la scorifica ad intervalli regolari e con opportuni utensili. Normalmente questi forni vengono caricati in continuo con rottami di pezzatura fine ed in discontinuo con rottami massivi.

#### FORNO ROTATIVO

Questo tipo di forno garantisce un'ottima qualità della lega fusa; è costituito da un cilindro di acciaio con un diametro di 4÷4,5 m ed una capacità di 50÷80 t, rivestito all'interno con materiale refrattario che deve resistere alle alte temperature ed all'aggressione del sale fondente. Il combustibile impiegato è gas metano con un rapporto  $CH_4/O_2$  che varia a seconda della carica di rottami inserita.

Al seguito del forno rotativo è presente un forno a bacino con la funzione di forno di mantenimento, dove si eseguono le operazioni di alligazione e degasaggio.



*Fig. 1.17 Forno rotativo collegato al forno fusorio*

#### FORNO A SUOLA SECCA

La carica di questo tipo di forno è costituita da getti di scarto (circa 60%) e da lingotti (circa 40%), la sua capacità fusoria varia tra 1,5÷5t/h, la temperatura di fusione arriva ad un massimo di 840÷860°C, la miscela aria/gas metano deve essere in proporzione di 10/1 per non ossidare la lega.



*Fig. 1.18 Carica dei lingotti in forno a suola secca*

Inoltre bisogna controllare la composizione dei gas di scarico all'uscita del camino, dove la quantità di CO<sub>2</sub> deve essere presente in percentuale del 9÷11%. Ogni 8 ore questi forni devono essere puliti per evitare l'accumulo di scorie (ossidi vari e corindone) che danneggiano le pareti refrattarie, riducono la vita del forno, diminuiscono la capacità fusoria ed ostruiscono i vani di alloggiamento dei bruciatori. Questa operazione deve essere eseguita manualmente sul refrattario impiegando attrezzi specifici come barre e puntalini distaccando gli ossidi dal refrattario.

Successivamente bisogna controllare la perfetta chiusura delle porte in modo di ridurre la dispersione di calore e limitare così il consumo di combustibile.

#### FORNO A TORRE

Questo tipo di forno, cui fa riferimento il modello Striko Westofen, è stato progettato con l'obiettivo di raggiungere un'elevata qualità metallurgica con un alto rendimento energetico, partendo dal presupposto che immettere una carica solida nel metallo fuso non è una soluzione corretta. Se infatti si analizza la fase del caricamento si può evidenziare che i lingotti e le materozze sono ad una temperatura di circa 20°C mentre la lega fusa si trova a circa 700°C: questa grossa differenza crea un brusco raffreddamento della parte liquida con la segregazione dei componenti alto-fondenti, la formazione di melme con composti inter-metallici contenenti Fe e Mn e la combustione di olio o altre sostanze

presenti sugli scarti di fonderia. La conseguenza di tutto ciò è che per ottenere la fusione del rottamen è necessario mantenere la temperatura del forno molto alta, il che favorisce l'ossidazione della lega di Al.

I forni a torre di tipo Striko sono dei forni fusori ad imbuto caratterizzati da una camera superiore dove si inseriscono i lingotti e le materozze da fondere, Esse vengono investite da un flusso di aria calda proveniente dalla camera inferiore; il materiale comincia così a fondere e gocciola nella camera inferiore, dove viene convogliato in un bacino di raccolta separato. In pratica ci sono 2 bruciatori: il primo dedicato alla fusione, il secondo dedicato alla camera di attesa; entrambi sono dotati di termocoppie e collegati a schede di termoregolazione e la combustione è regolata in proporzioni stechiometriche per evitare effetti riducenti o ossidanti sulla lega.

La lega liquida può essere prelevata attraverso il ribaltamento del forno, il traboccamento da un becco o la valvola di spillaggio.

I vantaggi metallurgici di questo tipo di forno sono notevoli:

- la lega di Al non viene mai surriscaldata limitando così la solubilità del  $O_2$  e del  $H_2$ ;
- il materiale caricato sporco, unto e bagnato subisce un'asciugatura e una pulizia essendo colpito dai fumi caldi;
- la fusione del materiale avviene su un piano inclinato che funge da filtro nei confronti di ossidi e inserti alto-fondenti (parti dei refrattari o residui in acciaio);
- l'indice di densità (D.I.)<sup>3</sup> 5÷8% migliorabile con l'utilizzo di setti porosi;
- il costo energetico è ridotto;
- la struttura è di facile pulizia e gestione;
- il calo di fusione è basso, con valori intorno all'1÷1,5%.

Come svantaggio bisogna evidenziare l'alto costo di acquisto dovuto alla complessità del sistema, che in pratica è la somma di due forni indipendenti, sovrapposti e comunicanti.

---

<sup>3</sup> La formula per il calcolo dell'indice di densità, che evidenzia la presenza di  $H_2$ , è la seguente:

$$D.I. = (\rho_A - \rho_V) / \rho_A \cdot 100\%$$

$\rho_A$  = densità dell'Al solidificato a pressione atmosferica;

$\rho_V$  = densità dell'Al solidificato sotto vuoto con  $P_{assoluta} = 80$  mbar.

## 1.8.2 FORNO FLEXIFIRE®

Il forno fusorio Flexifire® è ideale per l'incremento produttivo ed il risparmio energetico massimizzando la resa. Tale forno è lo sviluppo e la messa a regime di un forno fusorio LOW DROSS GENERATION (L.D.G.) ad O<sub>2</sub> puro: questo sistema è in grado di minimizzare le perdite per ossidazione a caldo, incrementare la produttività e ridurre i consumi specifici energetici.



*Fig. 1.19 Particolare del bruciatore ad O<sub>2</sub>*

L'obiettivo principale è la resa metallurgica: l'elemento significativo che incrementa la performance di questo processo fusorio è il sistema di combustione innovativo ad O<sub>2</sub>, di seconda generazione, applicato con successo già negli Stati Uniti, che garantisce ottimi risultati in termini di processo fusorio. L'impianto prevede il montaggio bruciatori ad O<sub>2</sub> sulla volta e l'installazione di un sistema di controllo della temperatura tale da garantire una puntuale regolazione della combustione migliorando notevolmente la gestione operativa, economica e metallurgica del forno. L'impiego del bruciatore ad O<sub>2</sub> sulla volta del forno consente di ottenere un'uniforme distribuzione della temperatura all'interno della camera di combustione grazie al predetto sistema di iniezione a controllo del combustibile e del comburente. Questo sistema fornisce alla fiamma un movimento continuo tale da provocare il progressivo spazzolamento della superficie del bagno, riducendo i fenomeni di hot-spot sui refrattari mantenendo invariate le condizioni di stress termico e di usura termica.

All'interno del forno si creano dei moti a turbolenza misurata causati dalla fiamma mobile e dai fumi di combustione che omogeneizzano la temperatura del forno migliorando in maniera significativa:

- l'efficienza globale del forno;
- i costi di gestione;
- la flessibilità di esercizio;
- la capacità di riscaldamento e fusoria aggiuntiva;
- le perdite per ossidazione con una riduzione del 16% rispetto alla norma;
- le emissioni di NOx.
- il trasferimento di calore per irraggiamento diretto ed indiretto;
- la temperatura più omogenea in camera di combustione e sul metallo grazie alla possibilità di orientare selettivamente la fiamma nelle zone più fredde;
- la riduzione gli hot-spot sul metallo e sul refrattario.

Tutto questo viene ottenuto conservando le normali condizioni di usura del refrattario.

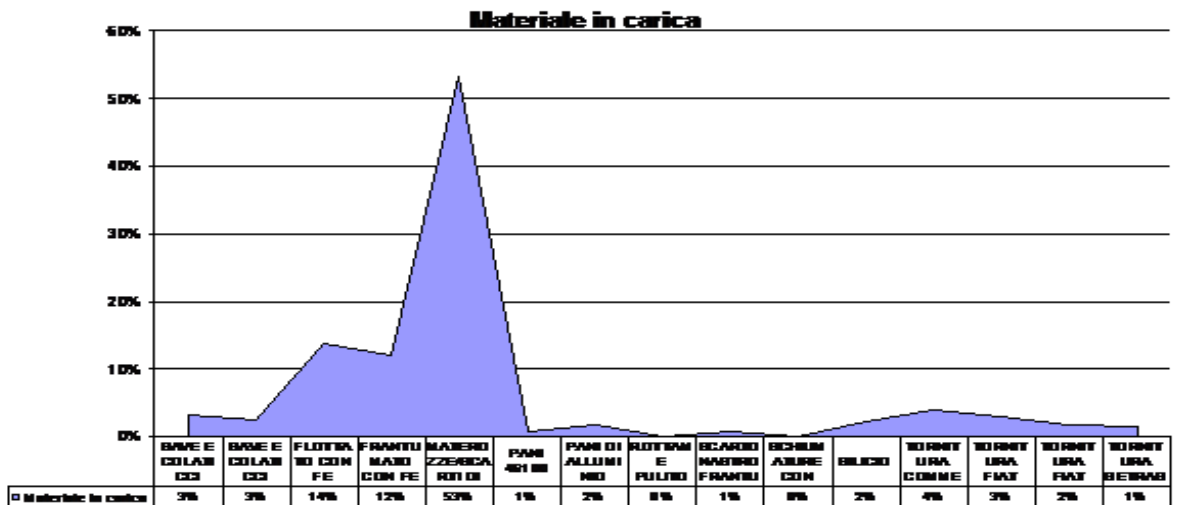
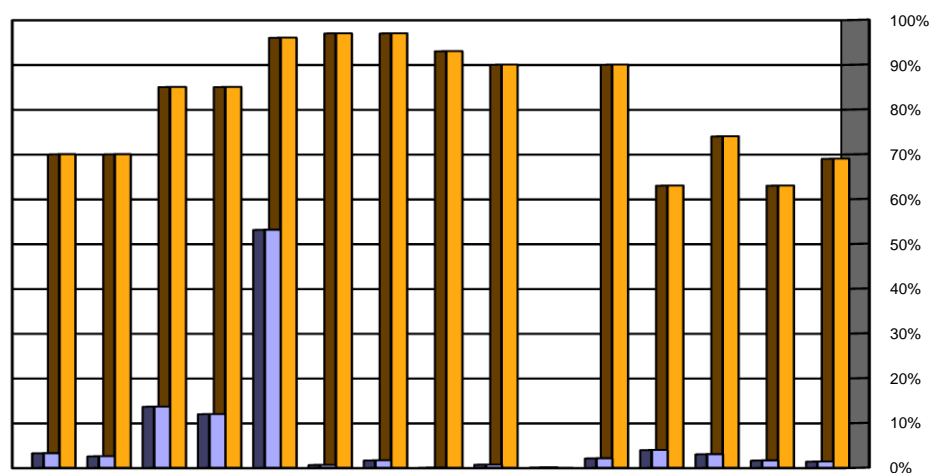


Fig. 1.20 Grafico del materiale di una carica ottimale per un forno Flexifire®



L'analisi termica svolta nella fase progettuale dei forni fusori per Al ha portato a rivisitare i criteri tradizionali, consentendo di reinterpretare in chiave migliorativa la scelta di:

- posizione dei bruciatori;
- posizione del camino per ottimizzare i flussi termici in forno;
- superficie ed altezza del bagno;
- modalità di gestione del processo del materiale di carica;
- andamento delle temperatura in funzione della sezione del forno.



*Fig. 1.21 Resa dei materiali caricati in forno Flexifire®*

Questo forno fusorio è ridisegnato nelle scelte progettuali, in termini di controllo e di gestione della fusione dell'Al allo scopo di lavorare nell'ottimizzazione:

- delle rese medie in metallo;
- della produttività del forno [ $t\ h/m^2$ ]; dei consumi energetici;
- della riduzione delle emissioni qualitative e quantitative dai camini.

Il Flexifire® melting furnace di norma ha una capacità di 40t ed una produttività di 4t/h; usa un sistema di combustione a fiamma mobile ed un innovativo modello di controllo e gestione della parte termica e di agitazione del bagno a mezzo di setti porosi.

La parte di controllo e gestione consiste nel far lavorare in modo armonico e controfase il sistema di agitazione ed i bruciatori secondo la seguente filosofia:

- Bruciatore in fase di potenza: sistema di agitazione in stand-by per creare una omogeneizzazione delle temperature senza rompere la patina tra la scoria e l'atmosfera della camera di combustione;
- Bruciatori in bassa potenza: sistema di agitazione in modulazione verso la portata di punta, conferendo al bagno movimenti caratteristici a seconda che si voglia lavorare per:
  - omogeneizzare;
  - dissolvere Si;
  - scarificare;
  - degasare.

In conclusione l'impiego del forno fusorio Flexifire® ad O<sub>2</sub> con fiamma mobile rappresenta una nuova soluzione efficace per la fusione dell'Al garantendo elevate rese, produttività e ridotti consumi energetici.

### 1.8.3 FORNO DI MANTENIMENTO

#### FORNO A BACINO

Questo impianto riceve lega liquida dal forno fusorio e da cariche liquide che arrivano dall'esterno: non bisogna mai caricare materiale solido perché le funzioni di questo forno non sono quelle di fondere ma solo di lasciare la lega in un ambiente che non abbia eccessivi sbalzi di temperatura, al fine di evitare ossidazioni, e dove possa subire alcuni eventuali trattamenti per migliorare la qualità.

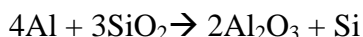


Fig. 1.22 Forno a bacino

La temperatura viene mantenuta a 710÷730°C, inferiore di 30÷40°C a quella del forno fusorio e non superiore a quella dei forni di attesa presenti nell'isola di lavoro. Anche in questo caso la miscela di gas/aria deve essere di 1/10 e avere una percentuale di CO<sub>2</sub> nel camino pari al 9÷11%.

Il bagno deve essere protetto per evitare l'assorbimento di H<sub>2</sub> da parte della lega fusa mantenendo sempre sotto controllo la miscela del gas, evitando di introdurre un eccesso di combustibile, controllando che la porta chiuda per limitare i contatti con l'ambiente esterno e che non vi siano dispersioni di calore. Un lieve strato di ossido (1÷2 mm) aiuta a proteggere il bagno dall'assorbimento di H<sub>2</sub>; questo strato isolante può svolgere la sua azione protettiva fino ad una temperatura di 900°C, oltre la quale si trasforma in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Per eliminare gli ossidi in eccesso che si formano nel forno si ricorre ad elementi disossidanti quali NaCl, KCl etc, che vengono depositati sul pelo libero del bagno e agitati lievemente; dopo 5÷10 minuti vengono rimossi con appositi utensili e con essi gli ossidi galleggianti che si sono formati.

La pulizia è necessaria una volta ogni 24 ore intervenendo con apposite barre per staccare il corindone (SiO<sub>2</sub>) che aggredisce la pareti refrattarie del forno: il corindone reagendo con l'Al liquido manda in soluzione il Si inquinando il bagno secondo la seguente reazione:



il corindone penetra nelle pareti ed i cristalli di Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hanno un ingrossamento sensibile del grano che provoca la distruzione della compattezza del refrattario del forno. Inoltre l'Al aggredisce le pareti scoperte corrodendole ulteriormente.

Quando si prevede un arresto della produzione è opportuno abbassare la temperatura del forno al di sotto di 700°C per ridurre l'ossidazione della lega e la cristallizzazione del Si; se questi cristalli venissero inglobati nei getti causerebbero rotture degli utensili durante le lavorazioni meccaniche, essendo molto duri.

Alla ripresa delle attività produttive è necessario alzare la temperatura agitando il bagno per riportare in soluzione gli elementi sedimentati che possono portare fuori specifica la lega, ed eseguire un'azione di disossidazione; dopo questi accorgimenti si può ricominciare a spillare Al. Si consiglia di controllare la densità e la composizione chimica almeno una volta a turno, mentre la temperatura deve essere costantemente controllata.

#### FORNO A INDUZIONE

Questo tipo di forno ha un elevato costo di gestione per le notevoli richieste di energia elettrica; viene impiegato per esigenze particolari come la rifusione di trucioli.

#### 1.8.4 FORNO DI ATTESA

Il forno di attesa ha una capacità di 1÷5t ed è riscaldato con gas o con resistenze elettriche; ha una potenza calorifica variabile per compensare l'abbassamento della temperatura durante il rabbocco della lega.

Questo forno gasa e ossida la lega quindi è necessario una volta a turno disossidare il bagno; la degasificazione può avvenire in maniera continua mediante setti porosi sul fondo o lance inserite.



*Fig. 1.23 Forno di attesa dotato di filtro*

È molto importante che la densità della lega sia controllata almeno una volta a turno e che la temperatura venga registrata in continuo; la pulizia di questi forni deve essere effettuata ogni giorno per evitare l'accumulo di corindone che danneggia le pareti refrattarie dei forni.

È buona norma, nella conduzione del forno, adottare le più basse temperature possibili compatibili con il buon esito qualitativo del prodotto finale (660-680°C).

I forni con alimentazione elettrica sono migliori perché non hanno sbalzi di temperatura e la lega viene gasata in modo limitato.

### 1.8.5 FORNO DOSATORE

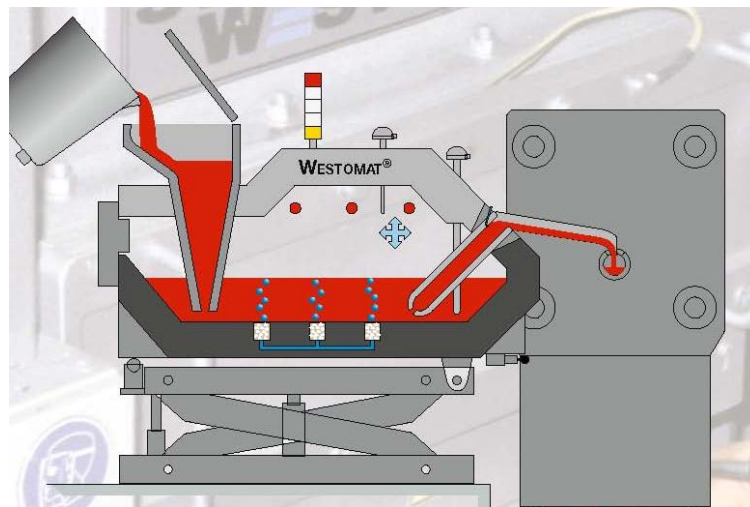
Questo tipo di forno ha una duplice funzione: mantenere l'Al liquido nei pressi della macchina da pressofusione e versarlo direttamente nel contenitore senza l'utilizzo della tradizionale tazza automatica attraverso un apposito sifone ed una canalina.

È un forno completamente chiuso, sigillato ed a tenuta di pressione; è alimentato solamente dalla rete elettrica ed al suo interno non avviene nessuna combustione che inquina la lega.



*Fig. 1.24 Forno dosatore tipo Striko-Westofen*

Il caricamento della lega liquida avviene per travaso da una siviera al cono di riempimento che funge da sifone: questa fase può avvenire senza interrompere la produzione visto che il bacino del forno rimane in pressione. Nella camera del forno viene inserita aria compressa che pressurizza il bagno in maniera controllata, facendo aumentare il livello di Al e quindi permettendone la fuoriuscita attraverso il tubo: i sistemi di regolazione di cui è dotato il forno consentono di realizzare con precisione il dosaggio.



*Fig. 1.25 Schema di funzionamento del forno dosatore Striko-Westofen*

I principali vantaggi sono:

- il prelievo del metallo liquido attraverso un sifone permette di non prelevare la pellicola superficiale di ossido che ricopre il bagno; inoltre non si danneggia questa pellicola che preserva lo strato inferiore della lega liquida. Si ricordi che con l'aumentare della profondità di prelievo diminuisce il contenuto di ossido;
- maggior controllo della temperatura che rimane più costante e più bassa; è possibile regolare la temperatura con intervalli di +/- 2°C;
- risparmio energetico dovuto alla qualità dei materiali coibendenti usati ed alla mancanza di superfici di lega liquida esposte; in caso di guasto elettrico il metallo rimane preservato allo stato liquido per 6÷8 ore;
- durata dei refrattari, grazie all'assenza di combustioni e di sbalzi termici;
- assenza della tazza caricatore e dei fermi per la sua manutenzione e sostituzione.

In questo tipo di forno un elemento caratteristico è il dosaggio che avviene per aumento della pressione nella camera del forno. Il controllo sulla variazione di pressione interna è quindi molto importante per poter arrivare a dosaggi precisi; il sistema elabora in base al peso richiesto una curva di variazione di pressione, controlla una valvola proporzionale che garantisce la pressione necessaria alla fuoriuscita e dialoga con l'elettrodo sensore che fornisce il segnale di inizio dosaggio nel momento in cui il metallo inizia a traboccare dal tubo alla canalina. In pratica solo per pressioni superiori a quella di contatto con l'elettrodo, posizionato nel punto di fuoriuscita, si avrà il dosaggio.

Per monitorare la quantità di lega presente nel forno è stata predisposta una cella di carico collegata ad una grande spia (a forma di semaforo) oppure si desume il livello semplicemente dalla lettura della pressione al momento del contatto con l'elettrodo attraverso un display.

### 1.8.6 ANALISI DEI COSTI DI FUSIONE

Per raggiungere la temperatura di fusione di un metallo o di una lega è necessario fornire energia per vincere le reazioni molecolari di aggregazione dello stato solido: normalmente in un forno si fornisce calore usando combustibili fossili o corrente elettrica.

La quantità di calore necessaria alla carica metallica per raggiungere la temperatura di fusione viene calcolata utilizzando la seguente formula:

$$Q = C_s p ({}^{\circ}t_f - {}^{\circ}t_i) + C_1 P$$

dove

Q = quantità di calore necessaria per la colata [Kcal/Kg]

C<sub>s</sub> = calore specifico [Kcal/Kg]

p = peso della lega [Kg]

°t<sub>f</sub> = temperatura di colata finale del bagno fuso [°C]

°t<sub>i</sub> = temperatura iniziale del metallo solido [°C]

C<sub>1</sub> = calore latente di fusione [Kcal/Kg]

con C<sub>s</sub> = 0,24 [Kcal/Kg] medesimo valore per metallo allo stato solido e liquido  
con C<sub>1</sub> = 93 [Kcal/Kg] per leghe di Al-Si.

La quantità di calore erogata dal bruciatore viene ricavata considerando il rendimento  $\eta$  del forno come:

$$P = (Q / 100) / \eta$$

dove

P = quantità di calore erogato dal bruciatore per la fusione [Kcal/Kg]

Q = quantità di calore necessario per la fusione [Kcal/Kg]

$\eta$  = rendimento del forno

Il potere calorifico del combustibile fossile utilizzato (metano) è 9200 Kcal/m<sub>3</sub> e potere calorifico dell'energia elettrica è 860 kcal/KWh.

## **1.9 TRASFERIMENTO DELLA LEGA ALLE ISOLE**

Esistono diversi sistemi di spillaggio e diversi mezzi di trasferimento della lega ai forni di attesa delle isole volti a proteggere il materiale dall'attacco dell'atmosfera, dai repentini sbalzi di temperatura e dai non corretti trattamenti da parte degli addetti.

Lo spillaggio ed il trasferimento della lega possono avvenire attraverso:

1. pompa di travaso realizzata con una girante di aspirazione e di mandata fabbricata con materiale granitico;
2. basculamento del forno su apposite cerniere;
3. prelievo dal pozzo di spillata con mestoli;
4. siviere carrellabili della capacità di 500÷700 kg movimentate con carrelli elettrici o a gasolio equipaggiate con setti porosi sistemati sul fondo e con una perdita di circa 15÷25°C;
5. automatismi sotto vuoto;
6. pompa con grande prevalenza per trasferire la lega tra piani situati a differenti livelli;
7. siviere pensili con capacità di circa 1,5÷2 t su vie guidate;
8. flusso continuo tramite canaline Launder rivestite internamente con materiale refrattario e mantenute in temperatura con resistenze elettriche.





*Fig. 1.26 Spillaggio con siviera carrellabile*

Durante lo spillaggio dell'Al la lega subisce azioni esterne che alterano la qualità; la principale operazione che influisce sullo stato del liquido è senz'altro il repentino movimento di travaso: in questa fase l'inclusione di gas nelle siviere è notevole così come anche la formazione di ossidi quindi è bene prima di distribuire la lega alle isole eseguire i trattamenti di degasaggio e disossidazione.

Qualora non si avessero dei setti porosi si possono usare delle lance o dei sistemi rotativi che si immettono nella siviera dall'alto.

Il sistema Launder è ottimale, in quanto i forni di attesa delle isole hanno un livello del bagno sempre costante e la temperatura non subisce variazioni; come svantaggio ha l'alto costo di realizzazione. Se si impiega questa soluzione per distribuire la lega alle isole di lavoro, viene offerta la possibilità di installare una stazione permanente tra il pozzo di spillaggio del forno di mantenimento e l'inizio della canalina di distribuzione che compie un'azione continua di degasaggio perché tutta la lega passa attraverso questa stazione; inoltre c'è la possibilità di posizionare un filtro a valle del degasaggio che filtra tutto il liquido prima di essere immesso nel processo di fabbricazione.



## 1.10 FILTRAZIONE

L'integrità strutturale, le proprietà meccaniche e l'aspetto della superficie sono qualità importanti delle leghe di Al: l'operazione di filtrazione porta a questi obiettivi.

I principali vantaggi dell'utilizzo dei filtri sono:

- le inclusioni di ossido che creano porosità diminuiscono;
- le cricature a caldo che durante la solidificazione provocando difetti in superficie diminuiscono;
- le scorie inter-metalliche calano;
- i punti duri (presenza di corindone e silicio) che provocano guasti e rotture durante la lavorazione alle macchine utensili diminuiscono;
- l'intera gamma di proprietà della lega migliora;
- la colabilità migliora poiché il metallo diventa più fluido;
- la resa e la produttività migliorano per la minore presenza di scarti.

I filtri impiegati sono a grani legati ed hanno le seguenti caratteristiche:

- struttura rigida, duratura e resistente che funziona da barriera tra il letto di fusione ed il pozzetto di alimentazione;
- basso gradiente termico dovuto al carburo di Si (allumina) che è il materiale di base del filtro che ha un'ottima conducibilità termica;
- durata effettiva di 1÷2 mesi, in base all'uso, alla pulizia periodica, alla cura per evitare danni meccanici;
- riduzione dell'usura dello stampo grazie al grado di pulizia del materiale fuso;
- filtratura di particelle fino a 10  $\mu\text{m}$  in base alla dimensione dei pori del filtro impiegato; di solito in pressofusione si usa un grado di porosità tale da rimuovere tutte le inclusioni più grandi di 30  $\mu\text{m}$  considerate dannose.

La manutenzione dei filtri va eseguita in modo periodico e accurato eliminando l'accumulo di ossido all'ingresso degli stessi ed evitando un ciclo termico completo, poiché le inclusioni solidificate nel corpo del filtro non vengono rimesse ed espulse nel momento in cui il filtro ritorna alla temperatura di esercizio.

Di norma la filtrazione avviene nel forno di attesa o nel forno dosatore prima che il metallo venga versato nel contenitore.

## 1.11 ESEMPIO DI CICLO PRODUTTIVO IN UNA RAFFINERIA

Un esempio di ciclo produttivo completo in una raffineria per ottenere una lega di Alluminio per la pressocolata è riassunto qui di seguito: si parte da tre tipologie di rottame (carter, spezzettato e primario), si utilizzano diversi tipi di forni secondo le proprie caratteristiche, si eseguono i trattamenti metallurgici e la filtrazione per ottenere una lega di qualità (allo stato liquido o in lingotti) ed si ottiene una parte di scarto-scoria da dismettere.

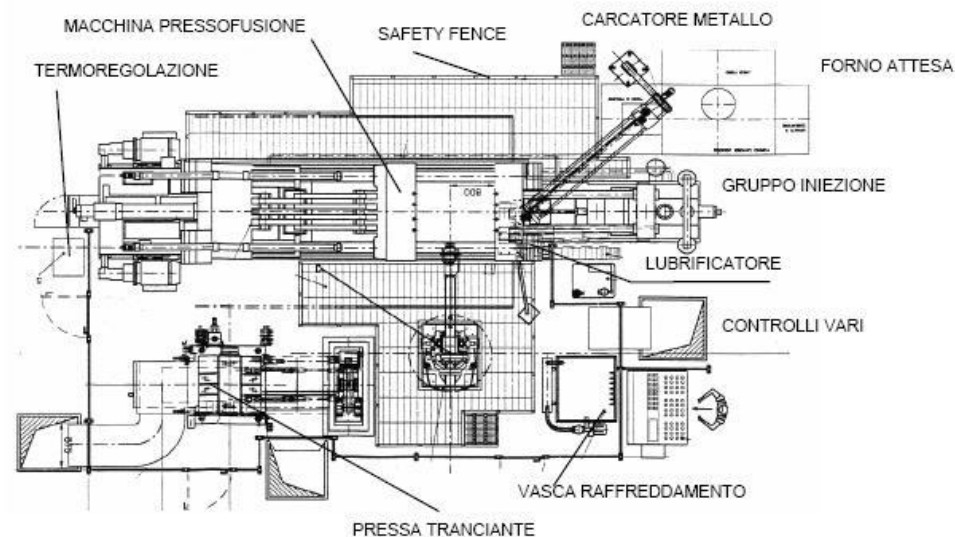
Arrivo rottame pesatura e controllo qualitativo				
Box parco rottame esterno				
Carter (legaAl+Fe)		Spezzettato	Primario	
↓		↓	↓	
Cernita manuale		Cernita manuale	Cernita manuale	
↓		↓	↓	
Box parco rottame interno				
Forno basculante 650-700°C		Essiccatore 150°C		↓
↓	↓	↓		
Fe + scoria	legaAl liquida	legaAl solida	legaAl liquida	Primario solido
	↓	↓	↓	↓
↓	Grossi forni fusori		Piccoli forni fusori	
	↓		↓	
	Trattamenti metallurgici		Trattamenti metallurgici	
	↓		↓	
	Spillato liquido		Canale colata	
	↓		↓	
	Filtrazione		Filtrazione	
	↓		↓	
Scarto	Siviera		Lingottiera	

## 2. ISOLA DI LAVORO

### 2.1 INTRODUZIONE

I principali componenti di un'isola da pressofusione sono:

- forno di attesa a bacino o dosatore;
- macchina di pressofusione;
- caricatore di lega liquida con forno dosatore;
- robot di lubrificazione;
- impianto di miscelazione del lubrificante;
- rilevatori del getto estratto;
- robot di estrazione getto;
- vasca o tunnel di raffreddamento;
- trancia di sbavatura;
- banco di controllo visivo e presbavatura.



*Fig.2.1 Rappresentazione dei principali componenti di un'isola da pressofusione*

Poiché alcune tipologie di getti possono presentare la necessità di contenere degli inserti metallici, l'isola deve essere anche dotata di:

- deposito degli inserti;
- piccolo forno di preriscaldamento per inserti dove richiesto dalle specifiche;
- robot di preimpostazione e di rimozione degli inserti su maschera o falso stampo.

Se si vuole realizzare un prodotto finito pronto per la spedizione al cliente finale l'isola deve essere inoltre completata con altri impianti:

- robot di prelievo;

- impianto di sbavatura;
- granigliatrice;
- impianto di fresatura;
- scarico getto dall'impianto all'imballo.

Con l'aggiunta di tutti queste periferiche si ha un'isola da pressofusione ottimizzata e completa dove il tutto può essere gestito da un'unica consolle che deve coincidere con quella della macchina da pressofusione; questa soluzione porta a vantaggi qualitativi ed economici sul processo, sulla formazione professionale degli operatori e sulla manutenzione.

Ad un eventuale cambio stampo l'isola di lavoro non cambia ma vengono solo modificate e riprogrammate le varie periferiche secondo il nuovo processo; di norma il software della consolle principale ha già in memoria diversi parametri salvati che basta richiamare.

## 2.2 UNITÁ

### FORNO DI ATTESA

Il forno di attesa deve garantire l'approvvigionamento e l'autonomia di funzionamento della macchina e quindi deve avere requisiti di capacità calcolati in rapporto al peso del getto ed al tempo ciclo; la temperatura di mantenimento impostata è in base alla geometria del getto ed alla lega impiegata.

### MACCHINA DA PRESSOFUSIONE

Una macchina da pressofusione a camera fredda orizzontale viene classificata in base alla forza di chiusura che essa esercita sullo stampo durante l'iniezione, che varia da 100÷4000t, pertanto una pressa può essere usata per produrre particolari diversi con stampi differenti purché le caratteristiche dei getti siano compatibili con le caratteristiche idrauliche.

Nella pratica la pressione unitaria di stampaggio moltiplicata per la superficie sviluppata del getto e dei canali di colata non deve essere superiore alla forza di chiusura della macchina (FLI).

$$FLI = K * ( p_i * ATI ) / 100$$

FLI = forza di chiusura macchina [kN];

K = 1,1 coefficiente di sicurezza minimo;

ATI = area totale: area getto + area colata + area pozzetti [cm<sup>2</sup>];

p<sub>i</sub> = pressione minima consigliata [bar];

p <sub>i</sub> particolari semplici	p <sub>i</sub> particolari tecnici	p <sub>i</sub> particolari strutturali	p <sub>i</sub> particolari strutturali con vacuum (sotto vuoto)
550÷560	650÷800	>800	700÷800

Fig. 2.2 Pressione minima consigliata

I parametri standard di una macchina da pressofusione sono:

- pressione accumulatore 130÷180 bar;
- pressione pompa 110÷160 bar;

- contro-pressione indicatore 6÷15 bar.

I parametri specifici per ciascun getto che devono essere regolati secondo le caratteristiche sono:

- lunghezza delle fasi e rispettiva velocità;
- moltiplicatore;
- forza di iniezione;
- forza di chiusura prefissata;
- forza di estrazione prefissata;
- tempi ciclo.



*Fig. 2.3 Macchina da pressofusione 1800t integrata nell'isola*

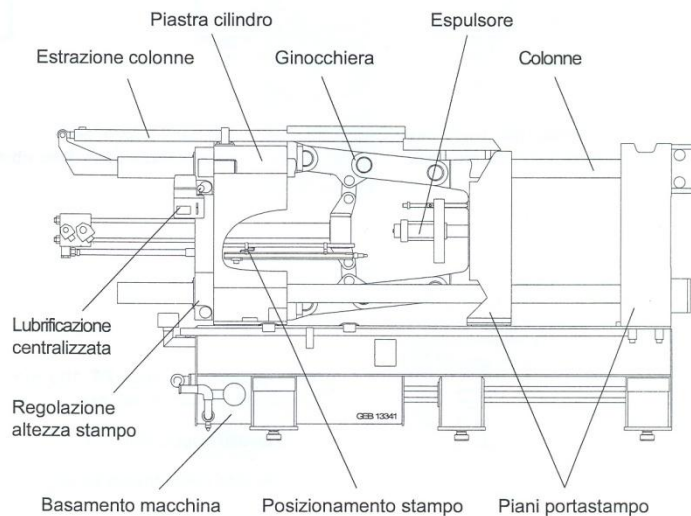
Il principio di funzionamento della macchina è in base alle funzioni che deve compiere:

1. chiusura dello stampo;
2. iniezione della lega;
3. estrazione del getto.

Il gruppo di chiusura, realizzato in costruzione robusta, è composto dal piano traversa cilindro (chiamato anche piano di reazione), dalla ginocchiera, dal piano mobile e fisso e da 4 colonne con ghiera filettate; le 2 colonne superiori sono dotate di impianto di estrazione automatica per il montaggio stampi con interruttori di fine corsa.

Il basamento della pressa è progettato per assorbire i carichi statici del gruppo di chiusura ed è dotato di punti di appoggio che distribuiscono il carico in modo uniforme sulle fondamenta; nel basamento è integrato il serbatoio idraulico.

Il piano porta stampo fisso è bullonato al basamento macchina mentre il piano mobile e la piastra cilindro poggiano su nastri di scorrimento. I piani porta stampi sono realizzati con ghisa sferoidale anticorrosiva, con perni di articolazione temprati ed alloggiati in bussole di bronzo: il tutto per garantire un'elevata durata e una ridotta manutenzione; i piani sono dotati di un sistema idraulico di bloccaggio automatico e rapido degli stampi.



*Fig 2.4 Gruppo di chiusura e ginocchiere*

Tramite il cilindro di chiusura si crea una spinta idraulica sulla ginocchiera che sposta il piano mobile fino alla chiusura dello stampo; il sistema meccanico della ginocchiera a leva doppia blocca il gruppo chiusura per evitare la possibilità di aprirsi durante l'iniezione; per la regolazione dell'altezza dello stampo è presente un sistema meccanico a motore idraulico con sistema di misurazione della corsa e disinserimento meccanico a fondo corsa, il tutto gestito dall'unità di comando.

Il gruppo d'espulsione idraulico a 2 cilindri con limite meccanico della corsa e con fori calibrati può essere dotato del giunto rapido per l'innesto ed il disinnesto automatico della piastra d'espulsione.

Tutti gli alloggiamenti in movimento sono alimentati con lubrificante tramite dispositivo centralizzato, il dosaggio avviene direttamente nei punti di lubrificazione tramite distributori a pistone integrati, il controllo dell'impianto avviene tramite pressostato posizionato in un punto remoto. La pompa elettrica ad ingranaggi è in rete con il serbatoio e con l'interruttore a galleggiante.

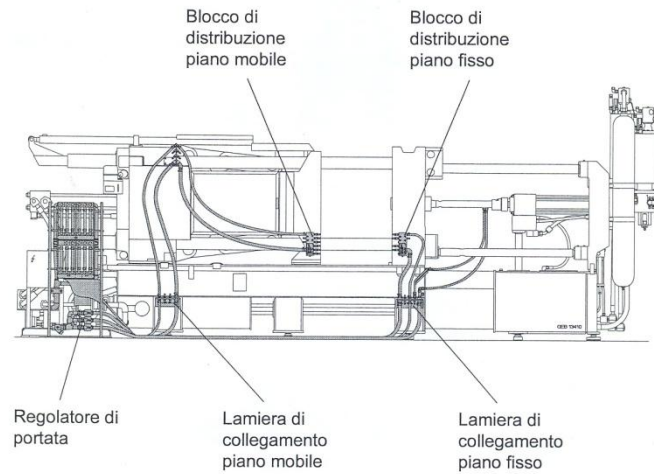


Fig. 2.5 Vista d'insieme

Il gruppo di iniezione è dotato di una regolazione automatica in tempo reale sia per la fase di riempimento sia per la post-compressione: l'adattabilità ottimale della curva di iniezione al pressofuso è assicurata da 20 punti sulla curva per ciascuna fase.

Il gruppo accumulatore a pistone garantisce in breve tempo durante la fase di riempimento grosse quantità di olio; l'accumulatore è collegato con le bombole di azoto dotate di disco antirottura per pressioni eccessive.

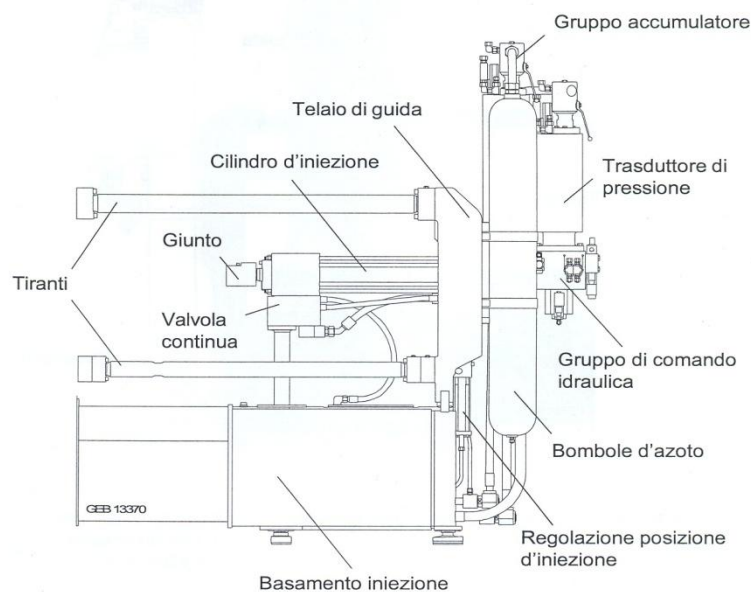


Fig. 2.6 Schema gruppo di iniezione

Nella fase di iniezione sullo stampo e quindi sul piano mobile agiscono delle forze che tendono ad aprire la macchina: queste forze sono generate dalla spinta del pistone d'iniezione sul metallo fuso in base al principio di Pascal.

Quindi all'aumentare dell'area frontale deve quindi aumentare la forza di apertura, che deve essere modulata con la forza di chiusura per evitare inconvenienti durante l'iniezione. Nel

calcolare queste forze è necessario considerare anche le superfici frontali di tutte le porzioni in cui è presente metallo liquido (esempio canali di colata e bave).

Mantenere lo stampo leggermente aperto per sfiatare l'aria durante l'iniezione è un errore molto grosso e peggiora la qualità poiché viene a mancare la pressione di compressione e si sottopone la macchina a sforzi anormali che possono causare la rottura delle colonne e deformazione dello stampo. Per garantire una perfetta chiusura delle parti mobili e per evitare errori dimensionali sul getto tutte le parti dello stampo devono essere pulite dall'Al; inoltre è necessario verificare che non ci siano perdite d'acqua o micro-cricche che possano danneggiare la macchina.

Stampo e gruppo di iniezione sono dotati di circuiti di raffreddamento suddivisi in più circuiti, con mandata pilotata in funzione della programmazione da una valvola magnetica, sul circuito di ritorno è possibile impostare la portata intervenendo manualmente; inoltre è possibile misurare la temperatura del fluido nel circuito di ritorno.

#### ROBOT DI COLATA

Il robot di colata, a 2 assi, identifica tutto l'impianto necessario a dosare ed a trasportare la quantità di lega utile per realizzare il getto.

#### CARICATORE DI LEGA LIQUIDA

Il caricatore di lega liquida ha la funzione di contenere il metallo dal forno di attesa al contenitore tramite una tazza di ghisa o di materiale ceramico; i parametri che bisogna controllare sono il dosaggio, la velocità e l'angolo della tazza rispetto al contenitore.



*Fig. 2.7 Caricatore con tazza*

#### ROBOT DI LUBRIFICAZIONE

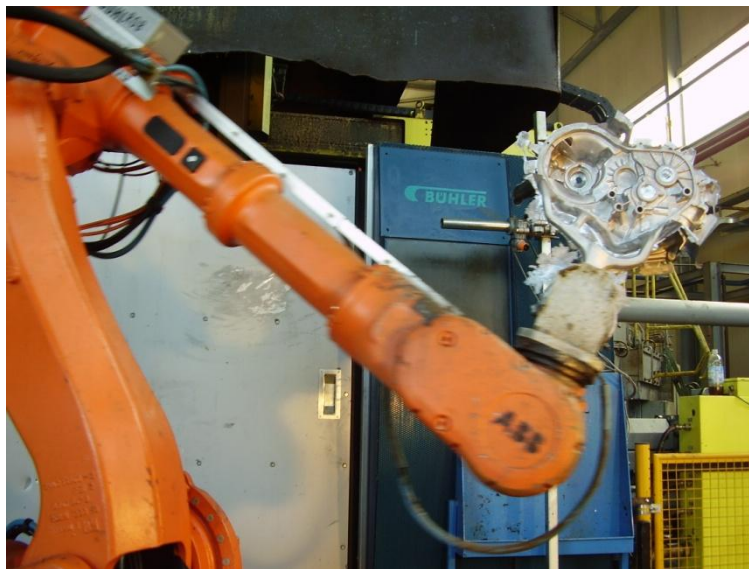
Il robot di lubrificazione può essere a 2, 3 o 6 assi (in ALMEC S.p.A. vengono impiegati quelli a 2 o 3) con dimensioni diverse per ciascuno stampo e può essere dotato di una testina lubrificante fino ad 8 circuiti distinti per diversi lubrificanti, regolabili e programmabili; completa la testina il doppio circuito di soffiaggio ad alto rendimento.



I diversi ugelli sono comandati dal software che regola la portata e la pressione intervenendo sulle diverse valvole servo-comandate; il suo ciclo e i movimenti sono svolti con servomotori a corrente alternata.

#### ROBOT DI ESTRAZIONE GETTI

Il robot per l'estrazione dei getti dallo stampo ha un'automazione molto complessa, un'elevata affidabilità e non richiede molta manutenzione; inoltre è concepito per resistere al calore, all'umidità ed all'ambiente di fonderia.



*Fig. 2.8 Robot di estrazione getti*

Il normale ciclo del robot è di estrarre i getti, avvicinarli al rilevamento, depositarli nella stazione di raffreddamento ed infine caricarli nella pressa per la tranciatura.

In questa fase del ciclo di produzione è necessario verificare e talvolta riprogrammare, nel caso di un nuovo set up dovuto ad un cambio stampo, il robot di estrazione del getto che posizionerà il getto nella vasca di raffreddamento e nello stampo di trancia. Qualora fosse necessario cambiare lo stampo di tranciatura è assolutamente indispensabile che tutti i posizionamenti siano ricontrollati per evitare danneggiamento al getto finale.

È importante sottolineare che, quando si cambia stampo ma non produzione non è necessario cambiare la pinza del robot, mentre lo diventa se si cambia anche produzione; in quest'ultimo caso probabilmente si presenta la necessità di riprogrammare alcuni punti del ciclo di estrazione.

#### VASCA DI RAFFREDDAMENTO

La vasca raffreddamento getti deve avere la capacità sufficiente a contenere e raffreddare i getti che, estratti ad una temperatura di  $260\div 320^{\circ}\text{C}$ , non hanno una sufficiente rigidità per sopportare le successive operazioni di tranciatura e quindi potrebbero danneggiarsi durante la lavorazione<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> L'immissione del getto in acqua ha quindi la funzione di fornire stabilità nella fase di tranciatura.



*Fig. 2.9 Immersione di un getto nella vasca di raffreddamento*

#### TRANCIA DI SBAVATURA E TRONCATURA COLATA

Una volta raffreddato, il pezzo viene posto sullo stampo di trancia perché vengano rimosse le parti estranee al prodotto.



*Fig. 2.10 Trancia e scivolo*

Lo stampo di trancia è costituito da due semistampi, uno che rimane fissato sulla parte stabile della pressa di tranciatura e una parte mobile che è fissata nella parte superiore dell'impianto in modo che in fase di inizio ciclo lo stampo resti aperto, pronto ad accogliere il getto da tranciare del quale ne è copia negativa.

#### MAGAZZINO INSERTI

Qualora fosse richiesta dal cliente l'inserzione di elementi ferrosi o similari nei getti, è necessario che si abbia un magazzino ordinato a bordo isola.

### FORNETTO DI RISCALDAMENTO

Alcuni tipi di inserti, quali le canne in ghisa, prima di essere ramolati devono essere riscaldati ad una temperatura di circa 150°C in modo tale da facilitare l'adesione tra i due metalli e ridurre le tensioni legate ai differenti coefficienti di dilatazione termica lineare: per ottenere queste temperature il fornello deve essere predisposto per raggiungere circa 250°C.

### MASCHERINA DI PRESETTAGGIO

Prima di essere ramolati sullo stampo gli inserti devono essere ordinati su una maschera o falso stampo in modo tale che si riproduca la stessa configurazione finale in modo da evitare errori di posizionamento.

### ROBOT DI PRESETTAGGIO

Questo robot serve a prendere gli inserti dal magazzino o dal fornello ed ordinarli sulla mascherina o sul falso stampo.

### ROBOT DI RAMOLAGGIO

Il robot fornito di speciali pinze preleva tutto il set ordinato di inserti per essere ramolati.

Se fossero richieste delle pre-lavorazioni sul getto verrebbero poi ad essere necessari:

- robot di prelievo, che preleva il getto dalla stazione di riposo e lo carica su una stazione dell'impianto di fresatura;
- stazione di riposo, in cui viene posato il getto dopo la tranciatura;
- scarico getto, cioè un manipolatore che preleva il getto dalla stazione e lo deposita fuori dall'isola perché subisca i successivi controlli.

## 2.3 FASI

### DOSAGGIO E TRASPORTO

Il dosaggio ed il trasporto del metallo al contenitore possono avvenire attraverso tre metodi:

- Autoladle;
- Mestolo o tazza;
- Forno dosatore.

Il dosaggio con Autoladle consiste nel posizionare un crogiolo in un forno d'attesa e calibrare la quantità di metallo necessaria per produrre un getto e poi far travasare quel metallo nel crogiolo esercitando una pressione con delle pompe regolabili.

Questo tipo di dosaggio presenta degli inconvenienti qualora il crogiolo fosse fessurato e quindi presenterebbe delle perdite di pressione che indurrebbero ad un dosaggio non corretto; una discontinuità nella calibrazione del metallo può anche avverarsi qualora la pompa non funzioni correttamente. Se si adatta questo sistema è necessario usare canaline di congiunzione tra forno e bocca di carico del contenitore.

Se si adotta il dosaggio con mestolo, alcuni degli inconvenienti anzidetti verrebbero ad essere eliminati, poiché il prelievo ha un'elevata ripetibilità in quanto si hanno delle sonde che individuano sempre il pelo libero del bagno nel forno, ed una volta conosciuto il livello di Al inizia la valutazione della quantità di metallo liquido per il corretto dosaggio. Con l'uso del

mestolo non si ha la necessità di usare le canaline viste prima però diventa indispensabile usare i mestoli in materiale ceramico o in ghisa verniciati con appositi materiali refrattari a base di talco, mica per evitare la metallizzazione della lega sulla tazza.

Quando si cambia produzione e presumibilmente varia il peso del getto, l'attenzione deve essere quella di cambiare mestolo, regolare l'altezza della sonda e la velocità di versamento dell'Al nel contenitore.

Una nota valida in entrambi i casi è quella di tenere il forno di attesa sempre pieno e comunque non abbassare il livello e la capacità a meno di 2/3 del volume del forno per minimizzare gli sbalzi di temperatura durante le successive fasi di riempimento.

Nel terzo caso il forno dosatore è completamente chiuso: all'interno è presente una sonda di livello regolabile secondo le esigenze di peso richieste dal prodotto. Quando si richiede il dosaggio si pressurizza tutto il bagno di metallo contenuto nel forno seguendo una linea di pressurizzazione predeterminata ed il metallo fluisce all'esterno attraverso un tubo collegato con una canalina che porta il metallo al contenitore della macchina.

### PREPARAZIONE STAMPO

Preparare lo stampo per la produzione significa seguire accuratamente tutte le operazioni necessarie ad evitare interruzioni durante la produzione. Il collegamento delle connessioni idrauliche ed elettriche delle radiali, degli espulsori, dei tallonaggi, delle eventuali valvole del vuoto, deve assorbire il tempo necessario che permetta di avere un ciclo sequenziale corretto, che significa evitare interferenze così da ridurre il più possibile il tempo ciclo.

Le fasi di un ciclo produttivo, ad avviamento attrezzature avvenuto, sono:

- raffreddamento della superficie dello stampo;
- lubrificazione con prodotto chimico distaccante-lubrificante della impronta stampo;
- soffiatura e asciugatura;
- ritorno pistone in posizione iniziale e lubrificazione del medesimo;
- ramolaggio inserti, quando previsto;
- chiusura radiali;
- chiusura stampo;
- riempimento del contenitore;
- iniezione;
- attesa solidificazione;
- apertura stampo con accompagnamento all'espulsione della materozza dal contenitore con il pistone;
- apertura delle radiali;
- espulsione del getto;
- estrazione getto e controllo pezzo fuori ingombro mediante fine corsa di prossimità o maschera;
- ripresa del ciclo di raffreddamento esterno dello stampo.

Contemporaneamente all'avanzamento del ciclo produttivo, a monte ed a valle della pressocolata le altre attrezzature componenti l'isola di lavoro si preparano al prossimo ciclo, senza incidere sul ciclo produttivo: gli impianti a monte della macchina di pressocolata preparano gli inserti che saranno ramolati nel ciclo successivo, mentre gli impianti a valle dopo l'estrazione getti proseguono con il raffreddamento del getto in vasca, tranciatura

pozzetti, sfondamento bave e tagli colata e, dove previsto, pre-lavorazione dei getti, scarico getto dall'isola e primo controllo.

#### RAFFREDDAMENTO INTERNO ED ESTERNO

Il raffreddamento dello stampo può avvenire in due differenti modi: uno è quello interno, che consiste nel creare, mediante foratura dei tasselli, circuiti che permettono il passaggio del liquido refrigerante.



*Fig. 2.11 Vista posteriore dello stampo e dei circuiti di raffreddamento*

Le forature vengono prestabilite in fase di progettazione, in modo tale che siano interessate le aree ritenute più sensibili ad un aumento eccessivo di temperatura.

Il secondo modo è quello esterno, che consiste essenzialmente nell'evacuare calore dallo stampo mediante getti di refrigerante derivanti da ugelli fissi posizionati sul perimetro esterno dello stampo ed indirizzati in maniera da colpire quelle zone non interessate dal raffreddamento interno.

#### LUBRIFICAZIONE E SOFFIATURA

In ordine sequenziale interviene prima la lubrificazione, poi la soffiatura; il tutto avviene con l'ausilio di robot che portano delle strutture porta-ugelli chiamate testine lubrificanti, che si posizionano tra le due matrici dello stampo e coprono con un film di lubrificante tutte le superfici facenti figura. Ultimata la fase lubrificante, intervengono gli ugelli soffianti che portano via tutti gli eccessi di liquidi che altrimenti si ingloberebbero nel getto sotto forma di porosità del gas.

#### RITORNO PISTONE

Durante tutte le fasi di raffreddamento e lubrificazione il pistone si trova in posizione di fine iniezione e questo per evitare che tutti i liquidi usati vadano a depositarsi nel contenitore. Solo dopo la fine del ciclo di lubrificazione il pistone ritorna in posizione di inizio ciclo ed in questo momento un getto di lubrificante investe la superficie esterna del pistone.

#### POSIZIONAMENTO INSERTI

Quando previsto un robot afferra l'inserto in acciaio tramite l'opportuna pinza e lo posiziona all'interno dello stampo presso una determinata sede, prima dell'iniezione della lega liquida.

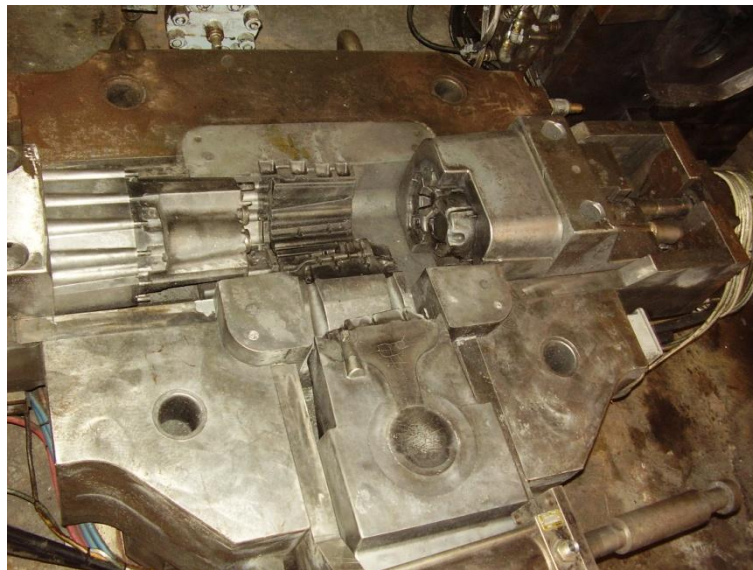




*Fig. 2.12 Getto con inserto di acciaio*

### CHIUSURA RADIALI

In maniera preordinata e senza che interferiscano tra loro si chiudono gli eventuali radiali (o anime metalliche) e quindi lo stampo.



*Fig. 2.13 Esempio stampo con 3 radiali*

### RIEMPIMENTO DEL CONTENITORE

Dopo la chiusura dello stampo avviene il riempimento del contenitore nella misura prestabilita per l'ottenimento del getto (tale misura considera anche il materiale per i pozzetti e le colate).

### INIEZIONE

È questa la fase più importante dell'intero ciclo produttivo perché la sua influenza sulla riuscita di un prodotto di qualità è fondamentale. L'iniezione è tutt'oggi oggetto di studi da parte di moltissimi gruppi fornitori di impianti di pressocolata e ricercatori universitari.

L'iniezione è la fase in cui la lega viene iniettata nella forma. Durante l'iniezione tutta l'aria contenuta nel contenitore e nelle cavità dello stampo deve essere espulsa man mano che l'Al riempie la forma del getto.

Il riempimento avviene con la seguente modalità:

- Fase 1: il pistone, con velocità variabile tra 0,04÷0,05 m/s accompagna l'Al fino all'attacco di colata;
- Fase 2: con velocità variabili da 3÷6 m/s avviene il riempimento della forma. La velocità di riempimento all'attacco di colata può raggiungere valori compresi tra 25÷60 m/s;
- Fase 3: in questo momento interviene il moltiplicatore di pressione<sup>5</sup> che si porta a valori compresi tra 100÷700 kN.

La scelta delle pressioni viene fatta in fase di progettazione ed in genere le pressioni aumentano man mano che aumenta la massa del getto, si richiedono elevate caratteristiche meccaniche e buona prova a tenuta minimizzando la porosità nelle pareti del getto. La velocità di pre-riempimento di questi prodotti è bassa per permettere una migliore evacuazione dell'aria. Pezzi con peso non molto elevato e con pareti sottili (1,5÷2,0 mm) richiedono delle velocità più elevate (circa 6 m/s in modo che tutto il getto si riempia rapidamente prima che l'abbassarsi della temperatura riduca eccessivamente la fluidità) e pressioni più moderate nella terza fase.

#### SFOGHI D'ARIA

Gli studi effettuati e le conseguenti applicazioni sono volte ad eliminare le quantità di aria e di gas che vengono a formarsi quando l'immissione di Al va a toccare i lubrificanti depositati negli stampi nelle sue parti facenti figura.

Ogni applicazione comporta degli investimenti da sopportare da parte dei produttori, quindi si ricorre ad essi quando con le soluzioni tradizionali non si ottengono i risultati sperati.

La creazione di pozzetti di trascinamento lungo il perimetro del getto è la soluzione tradizionalmente adottata ed è anch'essa soggetta a studi e guidata da regole, quali che l'area totale delle sezioni degli attacchi di questi pozzetti deve essere correlata alla sezione degli attacchi di colata in modo tale che la fuoriuscita dei gas dagli attacchi dei pozzetti siano verosimilmente uguali alle portate con cui il metallo riempie la cavità. Pertanto se non proprio uguale la somma delle sezioni degli efflussi deve essere circa il 60÷70% della sezione dell'attacco di colata. Molte volte non è possibile collocare i pozzetti e per questo si adottano le soluzioni alternative come valvole di evacuazione di aria o circuiti di aspirazione.

#### ATTESA DI SOLIDIFICAZIONE

Generalmente il tempo di solidificazione delle leghe pressocolate è molto breve, nell'ordine di pochi secondi, tuttavia prima di aprire lo stampo si devono attendere 15÷30 secondi in modo che il getto raffreddi da 660÷700°C a 260÷300°C ed acquisisca rigidità tale da poter sopportare gli sforzi di sformatura.

Un'osservazione da tenere in considerazione in fase di progettazione è che i tempi di solidificazione del pezzo e del suo attacco di colata (comprensivo di materozza) devono

---

<sup>5</sup>. Il moltiplicatore serve a compattare e ad alimentare il getto durante la solidificazione.

essere bilanciati, nel senso che l'attacco deve rimanere aperto il più a lungo possibile per consentire l'alimentazione del getto.

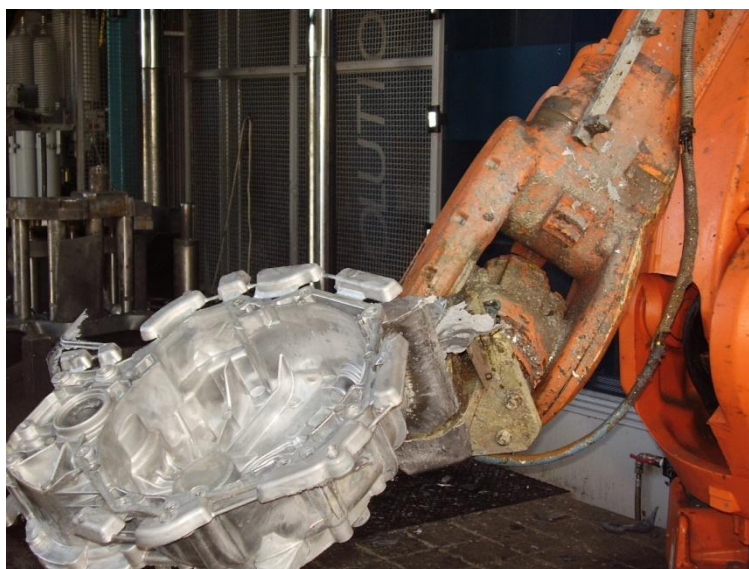
#### APERTURA STAMPI E RADIALI

Dopo la solidificazione si ha l'apertura stampo con accompagnamento all'espulsione del contenitore della materozza con il pistone; mentre si apre lo stampo inizia anche il ciclo di fuoriuscita sequenziale delle eventuali radiali o maschi meccanici.

#### ESPULSIONE GETTO ED ESTRAZIONE

Quando la matrice mobile ha raggiunto la fine della corsa di apertura e tutti i radiali sono fuori ingombro si ha l'espulsione del getto mediante una piastra che parte dagli espulsori (tendini di acciaio trattato) di differente lunghezza che si adattano alla geometria in modo tale da esercitare la pressione necessaria al distacco sulle parti del prodotto strutturalmente più rigide, evitando deformazioni.

Un robot provvederà a portare fuori dallo stampo il pezzo mediante pinza compatibile così da poter riprendere il ciclo produttivo ripartendo dal raffreddamento esterno e dalla lubrificazione.



*Fig. 2.14 Pinza robot*

#### TRANCIATURA AUTOMATICA

Questa operazione consiste nell'evacuazione del sistema di colata/alimentazione necessario per la produzione del pezzo. La tranciatura automatica provvede anche all'eliminazione di tutte quelle bave che si formano durante la produzione (bave di divisione stampo). Viene fatta in automatico mediante una pressa specifica detta pressa a trance e dotata di stampo trance.

La tranciatura generalmente avviene subito dopo lo stampaggio: il robot di estrazione getto preleva il pezzo dallo stampo, ne verifica l'integrità mediante fotocellule o fine corsa e, dopo essere stato raffreddato, lo deposita sulla parte fissa dello stampo trancia. Nel ciclo automatico ci sono dei sensori sullo stampo trancia che verificano l'avvenuto posizionamento del pezzo sull'attrezzo: se è corretto i sensori danno l'input alla chiusura dello stampo.



A questo punto la trancia effettua l'operazione secondo il ciclo impostato fino ad arrivare al fine corsa inferiore. La pressa di tranciatura più comunemente utilizzata è di tipo oleodinamico verticale. Tutto il sistema di colata e alimentazione non facente parte figura viene staccato dal pezzo e convogliato o in apposito contenitore (boccame) o in convogliatori che portano tali sfridi direttamente ai forni fusori per la rifusione. Il pezzo viene quindi tranciato e sbavato ovvero ripulito dalle eccedenze (il grado di sbavatura dipende dalla progettazione dello stampo trancia e dal grado di manutenzione che su questo si applica in quanto soggetto ad usura) e viene generalmente trattenuto dalla parte mobile dello stampo; a questo punto la pressa si apre raggiungendo il tratto di fine corsa superiore, dopo di che entra un piatto estrattore sul quale la trancia depone il pezzo.



## 3. OTTIMIZZAZIONE DELL'AVVIAMENTO

### 3.1 INTRODUZIONE

Questo capitolo sviluppa l'analisi e l'ottimizzazione della procedura di warm-up adottata presso le isole di lavoro della Fonderia C della azienda Almec Spa al fine di minimizzare gli scarti in fase di avviamento. L'idea è di definire una normativa interna da seguire punto per punto per fare ripartire la produzione: in base ai minuti di fermo impianto deve corrispondere un ciclo predeterminato di warm-up.

### 3.2 DEFINIZIONE DELLA FASE DI AVVIAMENTO

Lo scopo della fase di avviamento di una macchina da pressofusione è quello di portare, in modo graduale, la temperatura dello stampo da quella ambiente a quella di regime, che a seconda della geometria dello stampo si aggira tra  $200\div 280^{\circ}\text{C}$ .

In questa prima fase di produzione dei getti la macchina da pressocolata lavora con parametri diversi rispetto alla fase di regime:

- la pressione di iniezione è ridotta tra  $150\div 300$  bar;
- la velocità di seconda fase è ridotta tra  $2,1\div 3,0$  m/s.

Produrre con i normali parametri di pressione e di velocità e con la temperatura dello stampo bassa può causare:

- un ritiro molto rapido del getto;
- un tempo di solidificazione molto breve e quindi il getto di Al si incolla o si salda nello stampo;
- difficoltà per l'estrazione;
- elevata la possibilità di causare rotture all'interno della figura stampo, che portano ad un lavoro di ripristino molto costoso.

Per questi motivi, nella fase di avviamento è bene adottare un ciclo di lubrificazione apposito; per ottenere il deposito di uno strato uniforme di lubrificante sullo stampo così da favorire l'estrazione e l'espulsione del getto. L'impiego dei normali lubroseparatori a base di acqua raffreddano l'impronta ritardando il processo di distribuzione omogenea del calore. Dei buoni lubrificanti da utilizzare in fase di avviamento potrebbero essere preparazioni al bisolfuro di molibdeno o soluzioni a base di olio; le funzioni che devono compiere queste soluzioni sono quella di bonificare la superficie dove scorre la lega liquida, quella di permettere un riscaldamento mediato e quella di livellare le micro-fessure.

Come inconveniente i primi pezzi prodotti dopo la fase di avviamento, utilizzando questi particolari lubrificanti, presenteranno degli aloni neri e quindi saranno considerati scarti visivi. È necessario evidenziare che tutti i getti prodotti con questi valori ridotti di pressione-velocità, anche se non presentano aloni, sono da considerarsi scarti perché hanno elevata porosità e basse caratteristiche meccaniche.

Si possono ridurre i tempi di avviamento impiegando anche circuiti all'interno dello stampo per il passaggio di liquidi, olio diatermico o acqua, pre-riscaldati da apposite centraline tarate

tra i 100÷180°C che fungono da termoregolazione; in questo caso la temperatura iniziale dello stampo non quella ambiente ma è prossima a quella ottimale di regime.

Di norma la lega di Al cede durante la solidificazione allo stampo circa 200 Kcal/Kg(Al), quindi in fase di progettazione i canali di raffreddamento vengono dimensionati per asportare tale energia.

Durante le prime stampate, per evitare che lo stampo subisca shock termici e rallentamenti nel raggiungimento della temperatura ottimale, i circuiti di raffreddamento ad acqua devono essere chiusi; sarà cura dell'operatore aprire tali canali solo quando il getto presenterà al controllo visivo un aspetto lucido.

Le nuove macchine hanno un comando di autoriduzione che in automatico riduce pressioni e velocità dei valori di iniezione per le prime stampate senza dover intervenire in manuale nella modifica dei parametri. Con alcuni software di gestione ancora più moderni è possibile anche automatizzare tempi, numero dei cicli e tipi di lubrificante da usare durante la fase di autoriduzione, impiegando l'uso di termocamere e pirometri installati all'interno dell'isola che interagiscono in continuo con il software dell'isola.

### **3.3 PROCEDURA TRADIZIONALE DI AVVIAMENTO**

La procedura tradizionale di avviamento in azienda viene eseguita selezionando il comando di autoriduzione sul pannello della consolle dell'isola: in questo modo la macchina riduce in automatico pressioni e velocità nella fase di iniezione ma non modifica il normale ciclo di spruzzatura e di asciugatura.

In pratica per un certo numero di stampate si effettua il ciclo in autoriduzione, in seguito per un altro numero di stampate si disinserisce il comando di autoriduzione e si producono getti con parametri macchina a regime ma ancora considerati scarti per vari motivi (inclusioni di aria, soffiature e macchie nere). Il grosso problema di questa procedura è l'alto numero di getti prodotti ma non conformi poiché la termica dello stampo impiega molti cicli per raggiungere condizioni ottimali di processo; questo grosso inconveniente avviene perché il ciclo di lubrificazione è quello standard utilizzato per la figura già a 200÷280°C. Seguendo questa procedura e senza modificare il ciclo di lubrificazione per le prime stampate si produce il paradosso per cui viene svolto il raffreddamento di uno stampo non sufficientemente caldo; si ritarda così il raggiungimento della temperatura ottima e si producono quindi molti scarti che corrispondono ad un costo come mancata produzione.

Un altro inconveniente di questa procedura è il libero arbitrio dell'operatore nel decidere il numero di getti da produrre in autoriduzione e con i parametri macchina a regime: infatti allo stato attuale la persona addetta alla conduzione dell'isola stabilisce quando effettuare il controllo radiografico secondo esperienza personale, bravura e discrezione: se positivo egli fornisce lo start di produzione.



*Fig. 3.1 Esecuzione del controllo radiografico*

### **3.4 MONITORAGGIO DEGLI AVVIAMENTI CON PROCEDURA TRADIZIONALE**

Presso l'ALMEC S.p.A. di Nusco (AV) sono state monitorate per circa 8 settimane le isole di lavoro presenti in Fonderia C ed in particolare sono state esaminate tre Buhler Evolution B 180D ed una Buhler Evolution B 140D, di recente installazione, dotate di forni dosatore, robot e trancia dedicati.

Su queste isole di lavoro sono stati prodotti durante il periodo di osservazione 6 particolari simili tra loro, tutti supporti per scatole cambio o trasmissione di autovetture; le principali differenze consistono nella forma di alcuni dettagli oppure nel peso del getto finito ma la tecnica di fusione è la medesima.

La tecnologia e l'affidabilità dei 4 impianti ha escluso qualsiasi differenza di comportamento in fase di avviamento; le uniche variabilità sul rendimento sono state l'usura, l'età, la geometria ed i circuiti di preriscaldamento di ogni stampo.

Tutti i dati raccolti a bordo macchina con la collaborazione degli operatori, degli attrezzisti, dei capi turno e del capo fonderia sono stati inseriti in diversi fogli elettronici per ottenere grafici e tabelle; i più significativi sono riportati in Fig. 3.2 e Fig. 3.3.



Da questi grafici si evince che non esiste una regola fissa su quale debba essere il numero totale di scarti che è necessario produrre prima di portare lo stampo in temperatura, di pezzi prodotti con i parametri in autoriduzione ed a regime.

Dal diagramma si può osservare come talvolta venga realizzato un numero spropositato di getti in avviamento, anche fino a 20, che corrisponde a circa 30 minuti di mancata produzione. È quindi evidente che è necessario stendere una nuova procedura tecnologica per effettuare gli avviamenti in modo che ci siano un numeri di scarti confrontabili a prescindere dall'operatore di turno a bordo macchina.

### 3.5 DEFINIZIONE DEGLI INTERVALLI

Durante le 8 settimane di monitoraggio e in quelle successive si sono realizzate 2 tabelle per classificare i tipi di fermi e le durate degli stop di produzione.

sigla	Nome	Casistica	Range	Pezzi ON autoriduzione	Pezzi. a regime	Tot. pezzi scarti
t0	Stop nullo	Controllo chiusura radiali, biscotto fuori parametri	0-4 minuti	0	0	0
t1	Stop breve	Caricamento forno	5-9 minuti	0	1	1
t2	Stop medio	Anomalia periferica, pulizia spina, pulizia stampo	10-15 minuti	1	1	2
t3	Stop lungo	Guasto periferica, cambio spina, guasto stampo	15-60 minuti	3	1	4
t4	Inizio settimana	Guasto grave	Oltre 60 minuti	4	1	5
t5	Cambio stampo			5	1	6

*Fig. 3.4 Tabella obiettivi avviamenti con termoregolazione inserita (temperatura 120÷180°C)*

sigla	Nome	Casistica	Range	Pezzi ON autoriduzione	Pezzi. a regime	Tot. pezzi scarti
t0	Stop nullo	Controllo chiusura radiali, biscotto fuori parametri	0-3 minuti	0	0	0
t1	Stop breve	Caricamento forno	4-9 minuti	1	1	2
t2	Stop medio	Anomalia periferica, pulizia spina, pulizia stampo	10-15 minuti	2	1	3
t3	Stop lungo	Guasto periferica, cambio spina, guasto stampo	15-60 minuti	4	1	5
t4	Inizio settimana	Guasto grave	Oltre 60 minuti	5	1	6
t5	Cambio stampo			6	1	7

*Fig. 3.5 Tabella obiettivi avviamenti con termoregolazione non inserita*

Queste tabelle sono state realizzate e ottimizzate secondo le esigenze della produzione della ALMEC S.p.A. e secondo l'esperienza personale acquisita dai tecnici presso altre aziende di pressofusione, e sono parametriche rispetto alla funzionalità della termoregolazione.

Nella colonna "sigla" t0 ÷ t5 indicano la nomenclatura impiegata per identificare i tipi di avviamento; nella colonna "nome" compare la nomenclatura del tipo di fermo abbinato a quell'avviamento; nella colonna "casistica" i principali guasti o anomalie che causano i

fermi; nella colonna “range” infine i tempi di classificazione di ogni tipo di fermo<sup>6</sup>; questi intervalli sono molto importanti perché permettono di identificare ed inserire nella nuova procedura di avviamento tutti i tipi di fermi anche se hanno una frequenza limitata.

Gli avviamenti macchina dovuti alla sostituzione dello stampo per cambio del lotto di produzione non vengono presi in considerazione per questo lavoro di miglioramento del numero degli scarti poiché la ripetizione dei cambi stampi in Fonderia C è poco frequente.

Le ultime 3 colonne rappresentano gli obiettivi prefissati sul numero di getti da produrre in fase di avviamento con l'impianto in autoriduzione e a regime; in seguito questi valori potrebbero essere modificati in base a controlli con pirometri e con termografie per verificare l'effettivo raggiungimento della temperatura di regime dell'impronta.

### **3.6 NUOVA PROCEDURA DI AVVIAMENTO**

Dopo l'analisi dell'attuale procedura di avviamento e la classificazione dei tempi di fermo macchina è stata approntata una nuova procedura di avvio produzione, anche grazie alla consulenza della azienda produttrice delle MPF installate presso la Fonderia C.

Per prima cosa si è deciso di non impiegare più i cicli in automatico di spruzzatura e asciugatura poiché rallentano il raggiungimento della temperatura necessaria per ottenere getti di qualità; quindi è stato impostato, tramite il software di gestione presente sulle macchine da pressofusione, un ciclo ridotto di lubrificazione. In pratica la testina, dotata di ugelli e cannoncini, effettua una fase ridotta nei tempi, nelle portate (di lubrificante e di aria) e nei movimenti all'interno dello stampo: con questa procedura modificata la temperatura dello stampo non subisce un grosso calo ad ogni ciclo favorendo il raggiungimento dei 200°C in un numero basso di cicli.

Tuttavia questo nuovo ciclo di spruzzatura non permette la formazione del film lubrodistaccante quindi è necessario effettuare una lubrificazione manuale; questa procedura viene eseguita con l'ausilio di un'apposita lancia ed un serbatoio carico di prodotto distaccante in pressione. Il lubrificante impiegato è di tipo oleoso ed ha caratteristiche diverse rispetto a quello in uso nella normale testina; è un ottimo prodotto per evitare l'incollaggio del getto all'interno dello stampo, per lubrificare i carrelli e per ostruire i micro-fori e le microfessure che si formano sulla superficie dello stampo ma può formare aloni neri, rilasciare residui gommosi e quindi aumentare il numero di scarti. La bravura dell'operatore consiste nello stendere la giusta quantità di olio attraverso la lancia nebulizzante per formare la pellicola lubrodistaccante senza la creazione di aloni neri sui getti fusi.

---

<sup>6</sup> Bisogna evidenziare che l'avviamento di inizio settimana che avviene di norma la domenica sera ha le stesse caratteristiche di avviamento a partire da un fermo causato da un guasto grave che implica uno stop superiore ai 60 minuti.





*Fig. 3.6 Serbatoio per lubrificazione manuale*

Questo nuovo sistema da seguire in fase di warm-up permette di raggiungere in un numero più ristretto di iniezioni la temperatura ideale dello stampo ed inoltre standardizzare per ciascuno stampo il numero di getti da realizzare in fase iniziale con i parametri macchina in auto-riduzione ed a regime. Infatti dopo alcuni avviamenti realizzati con la nuova procedura si è passati alla compilazione di scheda di avviamento divisa per ciascun stampo e per ciascun sigla di fermo. A titolo esplicativo, per ciascun particolare prodotto in Fonderia C sono state pubblicate a bordo macchina le istruzioni per:

- eseguire in modo corretto la lubrificazione manuale;
- specificare il numero di getti da produrre;
- definire il campione da portare al controllo radiografico.



NUOVA PROCEDURA AVVIAMENTO  
DOPO FERMO DI OLTRE 60 MINUTI  
MPF 28 STAMPO 985823 I/3

<b>FASE PREPARATORIA</b> 1. Selettore Auto-Riduzione: posizione 1 2. Selettore raffreddamento pistone: posizione 1 3. Selettore raffreddamento parte fissa: posizione 0 4. Selettore raffreddamento parte mobile: posizione 0 5. (Impostare i parametri ridotti del lubrificatore per ciclo in auto-riduzione) 6. (Modificare ciclo Robot per evitare fase di raffreddamento in autoriduzione) 7. Attivare centraline di termoregolazione		
<b>1° STAMPATA</b> 1. Aprire il cancello 2. Lubrificare a mano con apposita lancia; in caso di mancanza di olio o mal funzionamento utilizzare la normale bomboledda rossa. Non impiegare mai il grasso sulla figura stampo 3. Chiusura cancello 4. Controllo allarmi 5. Attivare il <u>ciclo in semi-automatico</u> 6. Attivare il pronto iniezione		
<b>N.B. IN AUTORIDUZIONE LA LUBRIFICAZIONE E' RIDOTTA: BISOGNA SEMPRE LUBRIFICARE A MANO</b>		
<b>2° STAMPATA</b> 1. Aprire il cancello 2. Lubrificare a mano con apposita lancia 3. Chiusura cancello 4. Controllo allarmi 5. Attivare il <u>ciclo in semi-automatico</u> 6. Attivare il pronto iniezione	<b>3° STAMPATA</b> 1. Aprire il cancello 2. Lubrificare a mano con apposita lancia 3. Chiusura cancello 4. Controllo allarmi 5. Attivare il <u>ciclo in semi-automatico</u> 6. Attivare il pronto iniezione	<b>4° STAMPATA</b> 1. Aprire il cancello 2. Lubrificare a mano con apposita lancia 3. Chiusura cancello 4. Controllo allarmi 5. Attivare il <u>ciclo in semi-automatico</u> 6. Attivare il pronto iniezione
<b>5° STAMPATA</b> 1. Aprire il cancello 2. Lubrificare a mano con apposita lancia 3. Chiusura cancello 4. Controllo allarmi 5. Selettore Auto-Riduzione: posizione 0 6. Selettore raffreddamento pistone: posizione 1 7. Selettore raffreddamento parte fissa: posizione 0 8. Selettore raffreddamento parte mobile: posizione 0 9. Attivare il <u>ciclo in automatico</u> 10. Attivare il pronto iniezione		
<b>6° STAMPATA</b> La macchina effettua il normale ciclo di lubrificazione e stampaggio in automatico: questo getto prodotto è necessario sottoporlo al controllo radiologico.		
<b>7° STAMPATA</b> La macchina effettua il normale ciclo di lubrificazione e stampaggio in automatico. 1. Selettore Auto-Riduzione: posizione 0 2. Selettore raffreddamento pistone: posizione 1 3. Selettore raffreddamento parte fissa: posizione 1 4. Selettore raffreddamento parte mobile: posizione 1		

Fig. 3.7 Esempio di scheda nuova procedura di avviamento

### 3.7 MONITORAGGIO DEGLI AVVIAMENTI CON NUOVA PROCEDURA

A seguito della stesura e della messa a regime della nuova procedura di warm-up sulle macchine da pressofusione è stata eseguita una raccolta di dati attraverso delle schede compilate dagli operatori durante i vari turni di lavoro; in seguito sono stati compilati alcuni fogli elettronici per la visualizzazione dei risultati e la verifica del raggiungimento degli obiettivi preposti dopo la definizione del range.



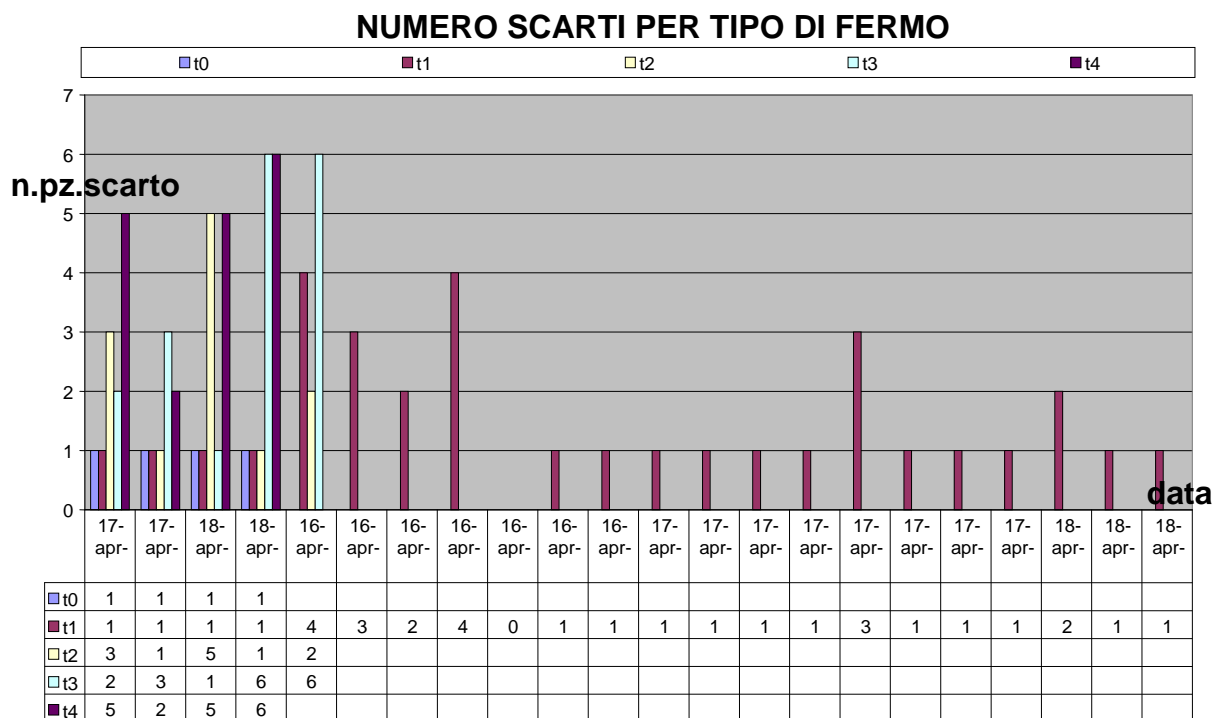


Fig. 3.9 Scarti per range di fermo

In Fig. 3.10 ÷ 3.14 sono rappresentati i pezzi di scarto in rapporto al range:

- le colonne sono in colore rosso se il numero di pezzi prodotti scartati è superiore al totale di pezzi scarto che prevede il range;
- le colonne sono in colore giallo se il numero di pezzi prodotti scartati è pari al totale di pezzi scarto che prevede il range;
- le colonne sono in colore verde se il numero di pezzi prodotti è inferiore al totale di pezzi scarto che prevede il range.

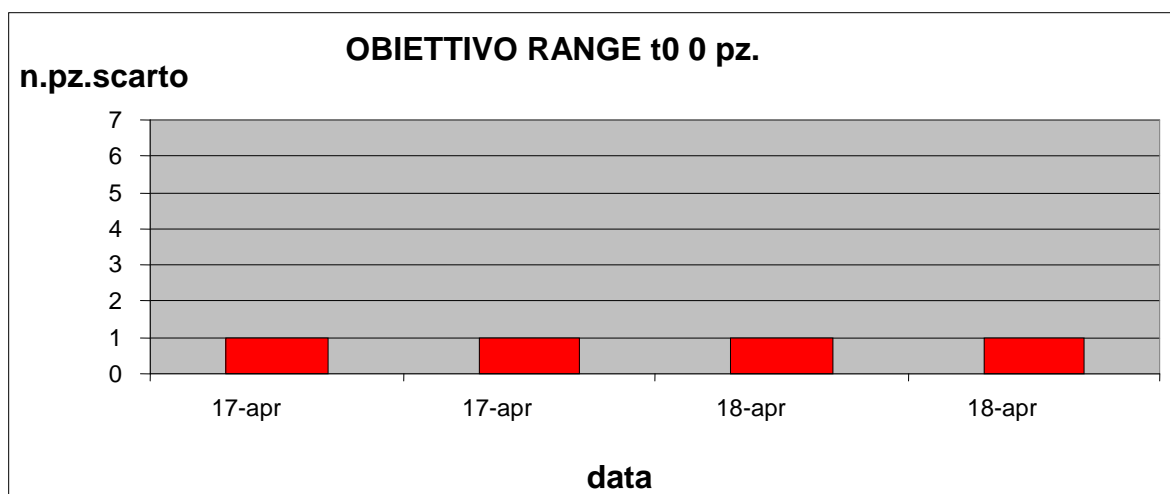
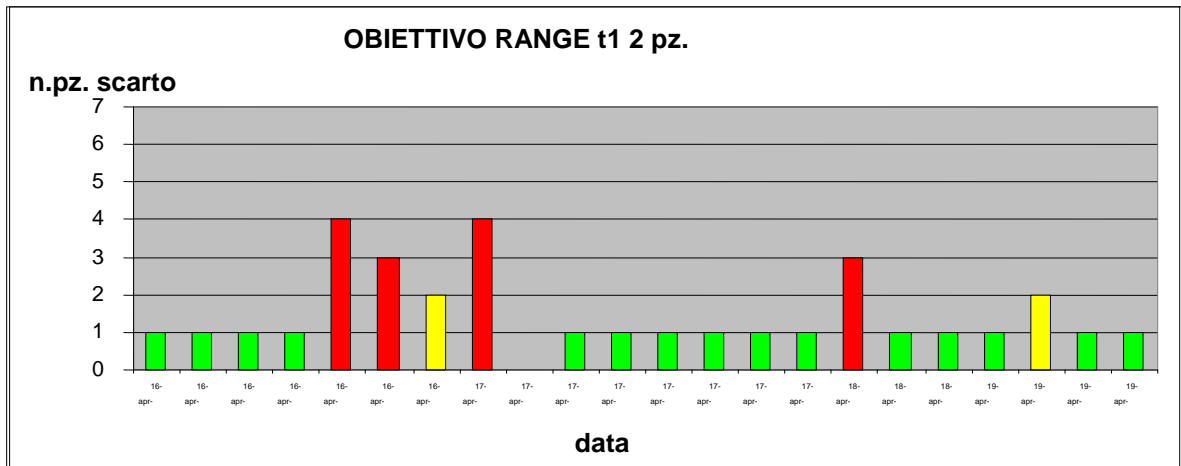
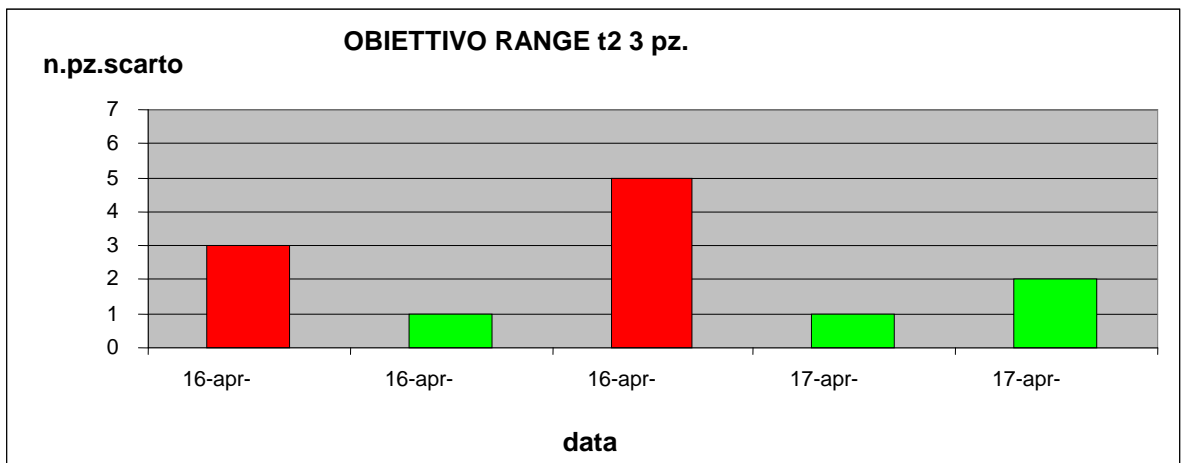


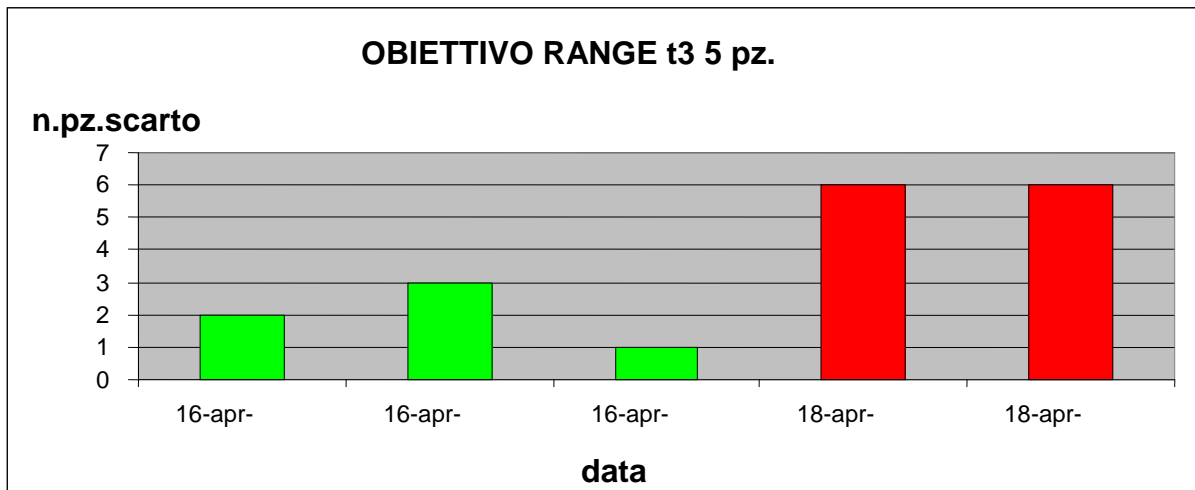
Fig. 3.10 Range t0: obiettivo 0 pz di scarto



*Fig. 3.11 Range t1: obiettivo 2 pz di scarto*



*Fig. 3.12 Range t2: obiettivo 3 pz di scarto*



*Fig. 3.13 Range t3: obiettivo 5 pz di scarto*

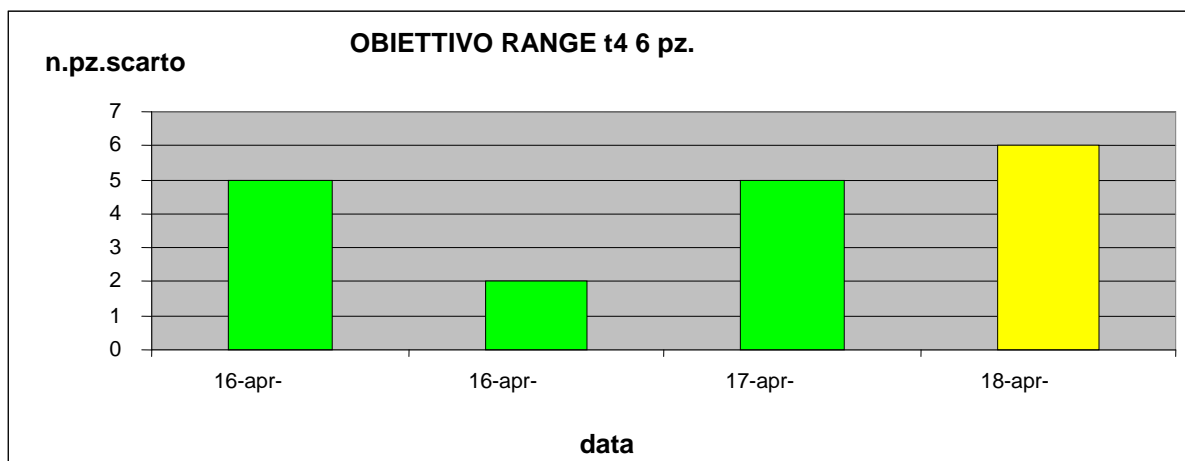


Fig. 3.14 Range t4: obiettivo 6 pz di scarto

Dai grafici si può notare che dopo fermi brevi non si è ancora raggiunto l'obiettivo sul numero massimo di pezzi di scarto mentre dopo stop prolungati, caso t4, il numero di scarti è pari se non inferiore al target prefissato.

Tuttavia anche quando la quantità di pezzi prodotti supera il target, il valore di eccedenza risulta contenuto (1÷2 unità) quindi con una maggiore attenzione in fase di avviamento da parte dell'operatore anche per i casi t0 ÷ t2 si potrebbe centrare l'obiettivo prefissato.

### 3.8 MONITORAGGIO TEMPERATURE IN FASE DI AVVIAMENTO CON NUOVA PROCEDURA

La corrispondenza tra durata dei fermi e numero di getti da produrre in fase di avviamento è stata eseguita, come riportato in precedenza, secondo le esigenze della produzione e l'esperienza dei tecnici; tuttavia non si può escludere che, adottando strumenti di analisi appropriati, si possa approdare a valori dei range differenti da quelli appena prefissati.

Per esempio, prendendo in esame la situazione t4 per uno stampo senza la termoregolazione in funzione ed impiegando pirometri e termocamere, si potrebbe verificare se effettivamente dopo 6 stampate la temperatura dello stampo sia già a regime o piuttosto se sia necessario un numero inferiore di stampate.

In Fig. 3.15 sono riportati i rilevamenti effettuati su stampi differenti.

				TEMPERATURA °C							
				FISSA				MOBILE			
MPF	TERMO	COD.	RANGE	LUBR. A MANO		LUBR. AUTOM.		LUBR. A MANO		LUBR. AUTOM.	
	REGOL	STAMPO		COLATA	PANETTONE	COLATA	PANETTONE	COLATA	FIGURA	COLATA	FIGURA
28	OFF	985823-I/3	t1		70				45		
28	OFF	985823-I/3	t1		40			33	38		
17	ON 180 °C	986146-III/2	t1	30	90			30	50		
17	ON 120 °C	986146-III/2	t0						100		60
17	ON 120 °C	986146-III/2	t0++			80	140-150			80	110-120
18	OFF	985699-I/3	t4	84	147				184		
18	OFF	985699-I/3	t4+	88	127				175		
18	OFF	985699-I/3	t4+	78	111				165		
18	OFF	985699-I/3	t4++			34	63			92	
18	OFF	985699-I/3	t4++			28	45			51	
18	OFF	985699-I/3	t4++			21	35			40	
27	OFF	985161-	t4		70				78		
			t4+		67				71		
			t4++		117				130		
			t4+++		148				165		
27	OFF	985161-	t0		155				182		
			t0+		164				196		
			t0++		191				208		
			t0+++				155				165
27	OFF	985161-	t1		124				137		
			t1+				121				123
			t1++				123				125
18	OFF	985823-	t4		57				138		
			t4+		160				175		
			t4++		190				193		
			t4++		211				216		
			t4+++		191				200		
			t4+++				178				185
18	OFF	985823-	t0				184				222
			t0+				180				220
			t0++				183				219

Fig. 3.15 Rilevamento delle temperature

Lo stato della temperatura è stato suddiviso secondo il seguente schema:

- t0 fermo nullo;
- t1 fermo breve;
- t2 fermo medio;
- t3 fermo lungo;
- t4 fermo inizio settimana;
- + dopo 5 minuti;
- ++ dopo 10 minuti;
- +++ dopo 15 minuti;

Nella fase attuale di questo studio l'ottimizzazione e l'eventuale rettifica dei range e del numero di pezzi di scarto è ancora in fase di approfondimento in quanto ci sono limitazioni all'acquisizione dei dati dovute ai fermi macchina e mancanze di programma.

### 3.9 SVILUPPI FUTURI SULLA FASE DI AVVIAMENTO

La nuova procedura di avviamento ha come limite la completa manualità e quindi il mantenimento degli obiettivi sulla riduzione dei pezzi scarto è lasciato alla bravura ed alla esperienza dell'operatore a bordo macchina.

Le attuali ricerche e sperimentazioni di alcuni produttori di macchine da pressofusione in collaborazioni con aziende specializzate nei lubrificanti stanno mettendo a punto un sistema

automatico che interagisca durante l'avviamento in tempo reale per ciascuna iniezione con il software dell'isola di lavoro; in pratica si arriverà ad automatizzare le procedure.

Nella fase produttiva bisogna utilizzare un lubrificante con basso calore specifico ed alta capacità distaccante, ma nella fase iniziale di avviamento la scelta del distaccante deve essere differente in quanto lo stampo non è ancora in temperatura.

Un altro grosso vantaggio nella fase di warm-up sarebbe la possibilità di modificare la durata della lubrificazione, in funzione dei cambiamenti delle temperature dell'acciaio, stampata per stampata.

La nuova soluzione da applicare per la fase di avviamento prevede che l'isola di lavoro venga dotata di 1 o 2 pirometri fissi, secondo la grandezza e la geometria dello stampo, che possono controllare i punti caratteristici dell'impronta; l'individuazione delle posizioni viene eseguita mediante l'analisi termografica. Bisogna evidenziare che la misurazione del calore avviene tramite i sensori IR che leggono la temperatura superficiale; in questo modo il dato che si acquisisce non è la misurazione del valore della massa dell'acciaio ma è la temperatura effettiva della pelle.

Inoltre un software aggiuntivo, che interagisce con il principale della macchina, acquisisce le diverse temperature prima del ciclo di lubrificazione e definisce il ciclo di lubrificazione ideale per ridurre al minimo il tempo necessario al riscaldamento dello stampo senza rischi per lo stesso; a fine di ciascun ciclo il pirometro rileva nuovamente le condizioni termiche e valuta se ha eseguito una termoregolazione adeguata secondo una procedura a feedback.

È quindi il nuovo programma a decidere:

- quante iniezioni devono essere eseguite in bassa pressione ed a regime;
- come regolare la testina lubrificante modificando portata pressione e ciclo;
- se attivare appositi cannoncini dedicati per stampi con geometrie particolari;
- quale tipo di lubrificante impiegare ed in quale diluizione.

Questo programma interagisce in modo continuo con quello già presente sulla MPF integrando nel quadro di controllo tutte le operazioni da gestire in fase di avviamento avendo anche la possibilità di memorizzare i dati di temperatura raccolti a tutti gli altri parametri già presenti negli archivi del sistema per le future fasi di start-up.

Lo scopo finale di questa nuova tecnologia è di:

- ridurre del 50% di scarti nella fasi di warm-up;
- avere tempi di lubrificazione ridotti in fase di riscaldamento fino allo 80% rispetto alla lubrificazione tradizionale, risparmiando lubrificante ed energia;
- diminuire gli stress termici con stampo freddo all'avvio ed incrementare la vita utile dello stesso.

In definitiva questa nuova tecnologia permette di automatizzare anche la fase di warm-up e di lasciar decidere molti parametri alla macchina stessa come avviene già per il ciclo a regime; ha come lato negativo il costo economico, quindi è una soluzione da applicare nel caso la nuova procedura di avviamento messa a punto nei paragrafi precedenti non sia attuabile per motivi anche di personale macchina. In conclusione se la nuova procedura manuale messa a punto nei paragrafi precedenti viene rispettata in tutte i punti secondo i diversi range il numero dei pezzi scarto è molto prossimo alla nuova tecnologia completamente automatizzata.



## 4. OTTIMIZZAZIONE DEL TEMPO CICLO

### 4.1 INTRODUZIONE

Lo scopo di questo capitolo è quello di approfondire l'analisi del processo produttivo, attraverso la definizione di una procedura standard per il rilevamento del tempo ciclo ed un format di monitoraggio della produzione.

Alla luce dei dati raccolti è stato inoltre possibile determinare alcune tra le principali cause di inefficienza del sistema e di conseguenza imbastire un modello di intervento nell'ottica manutentiva.

In tal senso, e per avere un ambito di lavoro circoscritto, lo studio si è concentrato le macchine di pressofusione 17, 18, 27 e 28 componenti il parco della Fonderia C dell'ALMEC S.p.A. Tali macchine, con una forza di chiusura di 1400÷1800 t, rappresentano alcune tra le più evolute presenti attualmente sul mercato.

### 4.2 COMPOSIZIONE FUNZIONALE DELLE ISOLE

Un'isola di pressofusione è un ambiente produttivo complesso ad elevato contenuto tecno-meccanico, le cui unità fondamentali sono:

- macchina di pressofusione (MPF);
- robot (RBT);
- impianto di lubrificazione (LUB);
- impianto di iniezione (INI);

Queste unità sono anche definite critiche in quanto rivestono un ruolo determinante nella definizione della durata unitaria del processo produttivo<sup>7</sup>. Tutte le altre unità, se ben progettate e gestite, non sono in questo senso influenti e pertanto, in condizioni di lavoro non anomale, non devono inficiare la cadenza produttiva: esse sono pertanto dette unità ausiliarie.

Il ruolo delle unità ausiliarie può essere quello di garantire determinati standard di sicurezza per l'operatore:

- Sportello (SPT);

Altre unità sono invece legate a quali e quante lavorazioni meccaniche vogliono essere realizzate sul getto solido, quindi sono in numero e tipologia variabile.

Nel caso dell'ALMEC S.p.A. l'unica lavorazione meccanica che viene realizzata all'interno dell'isola è quella di tranciatura, allo scopo di rimuovere la materozza, i pozzetti ed eventuali bave.

Pertanto le unità aggiuntive sono:

- trancia (TRA);
- piano di scarico<sup>8</sup> (PDS).

---

<sup>7</sup> In uno scenario tecno-meccanico più evoluto non si può escludere che alcune di queste unità possano perdere la loro criticità. È il caso per esempio della movimentazione del pezzo, per ora gestita dal robot ma chiaramente impostabile anche in altro modo (espulsione dagli stampi per gravità, movimentazione su nastri etc).

<sup>8</sup> Se non vi fosse stata tranciatura il robot avrebbe potuto poggiare il getto solido su di uno scivolo fisso; il piano di scarico è dunque da ritenersi un'unità opzionale abbinata alla trancia.



In esso vediamo come il ciclo sia diviso in 6 fasi e che il format di intervento sia legato alla rilevazione di una anomalia.

ALMEC		Ente Tecnologie di Processo S. De Vito						CICLO N°	
<b>SCHEDA MIGLIORAMENTO CICLI</b>									
CODICE:		Fig.		Nr. St.		DATA			
DESCRIZIONE:		Lega		N° ISOLA					
		A	B	C	D	E	F	T.C.	P.O.
		USCITA ROBOT	LUBRIFICATORE	CHIUSURA	COLATA / INIEZIONE	RAFFREDDAMENTO	APERTURA / ESTRAZIONE	TEMPO CICLO	PEZZI ORA
TEMPI MIN		0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	300,0
		A 1 A 2	B 1 B 2 B 3	C 1 C 2 C 3	D 1 D 2 D 3	E 1 E 2	F 1 F 2 F 3		
				0,20				0,20	
ANOMALIE/ INTERVENTI DA EFFETTUARE									
TEMPI MIN								0,00	####
INTERVENTO EFFETTUATO									

Fig 4.2 Scheda miglioramento cicli scomposti, secondo l'approccio tradizionale

La scheda in Fig. 4.2 invece mostra il tentativo già percorso di penetrare all'interno delle fasi definendo delle sottofasi: alla semplicità di questo documento fa tuttavia riscontro la minor cura nell'identificazione delle azioni elementari.

L'idea di approfondire le opportunità di intervento sul ciclo è stata la prima leva motivazionale di questo lavoro; in seguito la necessità di approfondire la caratterizzazione delle sottofasi di ognuna delle 6 descritte ha evidenziato il bisogno di proporre una nuova catalogazione delle fasi e delle sottofasi, dominata non dalle operazioni ma dalle unità<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Si considerino le vecchie fasi C, E ed F: come si può intuire la loro responsabilità è del tutto riconducibile al ruolo della MPF: pertanto, nella costruzione dei sottocicli, si è cercato di realizzare i raggruppamenti delle sottofasi secondo responsabilità.

## 4.4 NUOVA DIDATTICA DELLE FASI E DEI TEMPI

Ogni unità svolge in sequenza una serie di azioni che in questa sede vengono definite fasi; l'insieme di tutte le fasi che ogni unità compie è detto sottociclo: il ciclo è dunque l'insieme delle azioni compiute in aggregato presso l'isola, il sottociclo è invece l'insieme di solo quelle che attengono ad una determinata unità.

UNITÁ	SOTTOCICLO CRITICO
RBT	Movimentazione del getto
LUB	Lubrificazione dello stampo
INI	Alimentazione
MPF	Chiusura dello stampo

Fig. 4.3 Sottocicli critici ed unità abbinata

In Fig. 4.3 è presentato l'insieme dei sottocicli critici vigenti in ALMEC S.p.A.; si badi che la MPF è responsabile non solo della chiusura/apertura dello stampo ma anche comprensibilmente della dinamica di raffreddamento che si svolge al suo interno nella fase di post-iniezione.

Nelle Fig. 4.4 a-d compaiono in dettaglio le fasi che compongono ognuno dei sottocicli, ognuna delle quali è per semplicità accompagnata da un codice identificativo univoco.

A1: da termine ritorno in HP a ripartenza	A8: da rilevamento sensore presenza pezzo a rilevamento sensore di integrità del pezzo
A2: da ripartenza a fine corsa di accostamento	A9: da rilevamento sensore di integrità del pezzo a stop in immersione
A3: da fine corsa di accostamento a chiusura della morsa	A10: da stop in immersione a ripresa del moto
A4: da chiusura della morsa a inizio folle	A11: da ripresa del moto a stop ultima rotazione di sgocciolamento
A5: da inizio folle a fine folle	A12: da stop ultima rotazione di sgocciolamento ad alloggiamento in trancia
A6: da fine folle a fine reinnesto marcia	A13: da alloggiamento in trancia a termine ritorno in HP
A7: da fine reinnesto marcia a rilevamento sensore presenza pezzo	

Fig. 4.4.a Sottociclo di movimentazione del getto

B1: da termine ritorno in HP a ripartenza	B4: da avvio ciclo (rilevamento del fuori ingombro) a posizionamento in quota di start
B2: da ripartenza a fine corsa verticale (pre-ingombro)	B5: da posizionamento in quota di start a fine asciugatura (ultimo ingombro)
B3: da fine corsa verticale (pre-ingombro) ad avvio ciclo (rilevamento di fuori ingombro)	B6: da fine asciugatura (ultimo ingombro) a termine ritorno in HP

Fig. 4.4.b Sottociclo di lubrificazione dello stampo

C1: da fine corsa estrazione a sensore presenza pezzo	C9: da termine riempimento a termine solidificazione (inizio apertura lenta)
C2: da sensore presenza pezzo a fine prima fase di lubrificazione con macchina in quiete (start estrattori)	C10: da termine solidificazione (inizio apertura lenta) a fine apertura radiali piano fisso
C3: da inizio rientro degli estrattori a fine rientro degli estrattori	C11: da fine apertura radiali piano fisso a fine apertura lenta
C4: da fine rientro degli estrattori a fine seconda fase di lubrificazione con macchina in quiete	C12: da fine apertura lenta a fine apertura
C5: da fine seconda fase di lubrificazione con macchina in quiete a fine sequenza chiusura radiali	C13: da fine apertura a termine sequenza apertura radiali
C6: da fine sequenza chiusura radiali a fine terza fase di lubrificazione con macchina in quiete (end lubrif)	C14: da termine sequenza apertura radiali a chiusura della morsa del robot
C7: da fine lubrificazione a fine chiusura (pronto iniezione)	C15: da chiusura della morsa del robot a fine corsa estrazione
C8: da fine chiusura (pronto iniezione) a termine riempimento	

Fig. 4.4.c Sottociclo di chiusura dello stampo

D1: da fine lubrificazione testa del pistone a pronto iniezione	D8: da fine corsa di accompagnamento del pistone ad avvio riposizionamento
D2: da pronto iniezione ad apertura della bocca del forno	D9: da avvio riposizionamento a riposizionamento effettuato
D3: da apertura della bocca del forno a termine colata	D10: da riposizionamento effettuato a fine attesa lubrificatore
D4: da termine colata a chiusura della bocca del forno	D11: da fine attesa lubrificatore a fine interazione col ciclo di lubrificazione
D5: da chiusura della bocca del forno a III fase avvenuta	D12: da fine interazione col ciclo di lubrificazione a termine ritorno in HP
D6: da III fase avvenuta a termine solidificazione	D13: da termine ritorno in HP a fine lubrificazione testa del pistone
D7: da termine solidificazione a fine corsa di accompagnamento del pistone	

Fig. 4.4.d Sottociclo di alimentazione

La ripartizione appena presentata è frutto di un lavoro di analisi ed ottimizzazione del processo, fase per fase.

A seguito di questo lavoro si è ritenuto opportuno impostare una divisione delle fasi<sup>10</sup> come segue:

- Fasi attive, impiegate per compiere un'operazione;
- Fasi passive, non impiegate per compiere un'operazione.

Le fasi attive possono a loro volta essere suddivise in:

- Fasi critiche (fc), che influenzano la cadenza produttiva dell'isola;
- Fasi non critiche (fa), che non influenzano la cadenza produttiva dell'isola.

Le fasi passive invece si suddividono in:

- Fasi di attesa (fw), determinate da vincoli di precedenza verso altre unità;
- Fasi di riposo, includenti la fase di posizione iniziale (hp, home position<sup>11</sup>) ed eventuali altre fasi di riposo o morte (fm).

La durata di un sottociclo può essere misurata secondo 3 indicatori:

- Durata bruta DB

$$DB = \sum tc + \sum ta$$

- Durata unitaria DU (o tempo ciclo puro)

$$DU = \sum tc + \sum ta + \sum tw$$

- Durata a regime DR

$$DR = \sum tc + \sum ta + \sum tw + \sum hp$$

(con tc tempo critico, ta tempo non critico, tw tempo attesa, hp tempo di riposo)

Mentre le caratteristiche del sottociclo in termini di criticità possono essere misurate secondo gli indici:

- Criticità (C) del sottociclo

$$C = \sum tc / TC$$

- Saturazione (S) del sottociclo

$$S = DB / TC$$

<sup>10</sup> Per uniformità di notazione i tempi di una fase attiva sono stati definiti tempi attivi, i tempi di una fase passiva tempi passivi e così via. Allo stesso modo tutte le sigle finora presentate e relative alle fasi possono essere tradotte in tempi associati solo sostituendo la sigla f\* con t\*.

<sup>11</sup> La fase di home position è convenzionalmente ritenuta la fase iniziale di ogni sottociclo.



rappresenta una significativa evoluzione rispetto al precedente in uso in azienda perché appropria al tempo ciclo in maniera più accurata.

Inoltre esso segna il passaggio da un monitoraggio orientato alle macroazioni ad un altro orientato alle unità che le realizzano, come è riassunto nella tabella seguente:

ORIENTAMENTO DELL'ANALISI	
VECCHIO APPROCCIO	NUOVO APPROCCIO
Uscita robot	Movimentazione/Robot
Lubrificazione	Apertura-chiusura/MPF
Chiusura	Lubrificazione/Lubrificatore
Colata/iniezione	Alimentazione/Sistema d'iniezione
Raffreddamento	
Apertura/estrazione	

*Fig. 4.6. Confronto tra il vecchio ed il nuovo approccio*

Procedendo in questo modo con il nuovo approccio vengono rappresentate alcune fasi prima analizzate separatamente e viceversa.

## 4.5 AGGREGAZIONE DEL TEMPO CICLO

In questo paragrafo si intende comprendere cosa accade quando si vogliono assemblare le unità in un unico sistema di produzione. I sottocicli appena presentati infatti non possono più operare indipendentemente: ad esempio il robot non può entrare tra gli stampi se essi sono chiusi, o gli stampi chiudere se il lubrificatore è ancora al lavoro.

Risulta evidente che l'interazione tra i sottocicli impone la definizione di un certo numero di vincoli: l'insieme dei vincoli agenti sul ciclo -ovvero tra i sottocicli- in un dato istante è detto sistema dei vincoli.

L'esistenza dei tempi passivi in un sottociclo è strettamente legata all'esistenza dei vincoli: i tempi passivi infatti non sono mai una scelta ma sempre una necessità condizionata al sistema dei vincoli, come vedremo meglio in seguito.

Si definisce sincronizzazione l'attività di composizione del ciclo a partire dalla conoscenza dei sottocicli e da una data configurazione del sistema dei vincoli. La sua rappresentazione grafica è detta diagramma di sincronizzazione (Fig. 4.7).

I vincoli sono relazioni cronologiche tra fasi di uno stesso sottociclo o sottocicli diversi; se non vi fossero vincoli, decurtando quindi ogni tipo di tempo passivo, il diagramma di sincronizzazione si potrebbe comprimere all'estremo ed il TC diventerebbe pari sistematicamente alla più lunga DB.

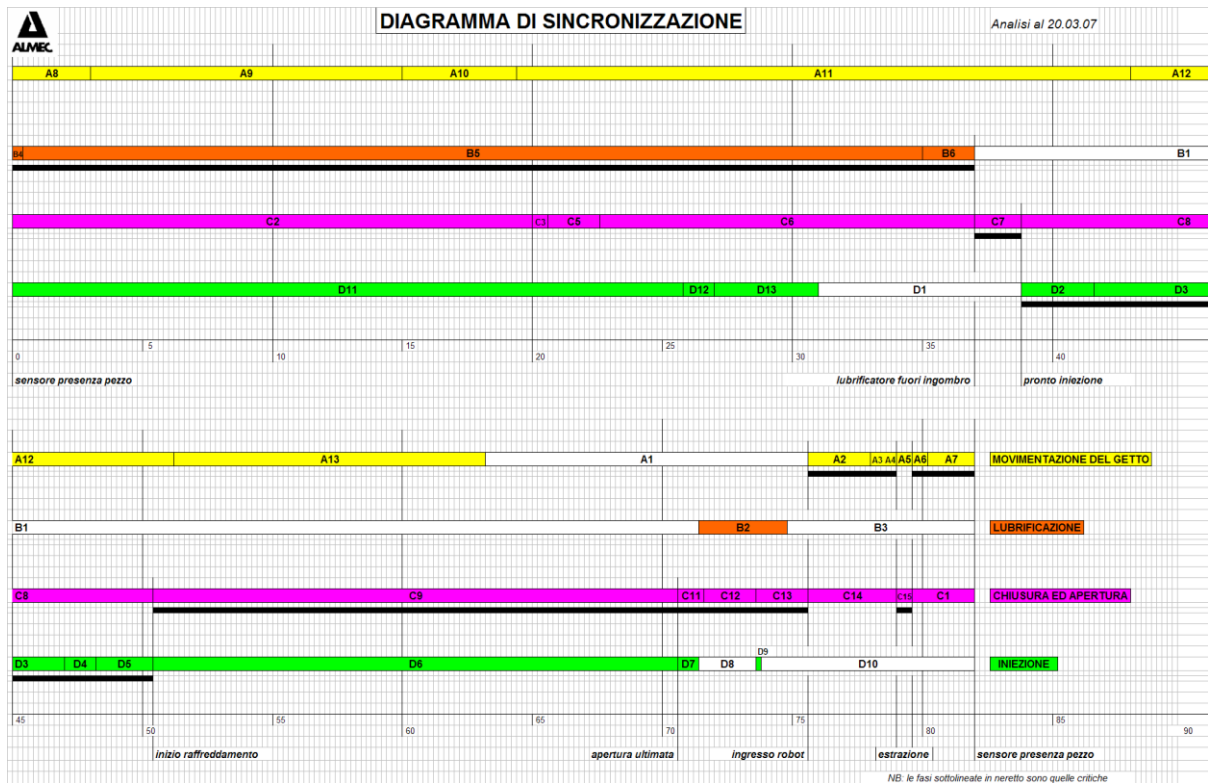


Fig. 4.7 Diagramma di sincronizzazione

Nella figura seguente (Fig. 4.8) è invece presentato il pannello di controllo e gestione del tempo ciclo per una MPF Buhler, che, come si vede, non è molto dissimile dal diagramma di sincronizzazione elaborato autonomamente.



Fig. 4.8 Immagine dal pannello di controllo: analisi tempo ciclo



#### 4.5.1 INFLUENZA E CLASSIFICAZIONE DEI VINCOLI

Come detto sopra, la sussistenza dei tempi passivi è strettamente legata al sistema dei vincoli; rileggendo ora la classificazione dei tempi passivi alla luce di questo aspetto, essi possono essere suddivisi nel modo seguente:

- Tempi passivi vincolati, cioè inutilizzati per compiere azioni per effetto di un vincolo (in questa categoria ricadono tutti i tempi di attesa);
- Tempi passivi non vincolati, cioè non impiegati in azione alcuna pur non agendo alcun vincolo (in questa categoria ricadono i tempi morti ed i tempi di home position).

In genere nel diagramma di sincronizzazione i tempi passivi vengono indicati con segmenti privi di colore se non vincolati.

I vincoli, anche detti impropriamente formule, sono relazioni matematiche o logiche tra due o più fasi. Essi possono essere:

- Di uguaglianza, se obbligano le fasi cui sono abbinati ad avere estensioni pari alla durata di certe altre;
- Di disuguaglianza, se inducono le fasi cui sono abbinati ad avere estensioni obbligatoriamente diverse da certe altre (di norma il valore della disuguaglianza è dipende da considerazioni di carattere tecnico);
- Di precedenza, se determinano che una fase possa avere inizio solo al raggiungimento di un certo istante, legato ad altra fase.

I vincoli si possono anche dividere in un altro modo:

- Vincoli in linea, che riguardano fasi contigue o meno appartenenti allo stesso sottociclo;
- Vincoli trasversali, che riguardano fasi contigue o meno appartenenti a sottocicli distinti.

I vincoli di uguaglianza e disuguaglianza sono di norma trasversali e servono a quantificare le attese di cui sono responsabili altre unità; talvolta possono però anche essere in linea, quando per esempio due fasi dislocate ad una certa distanza lungo un sottociclo siano l'una l'esatto contrario dell'altra se non proprio la medesima fase.

**ESEMPIO 4.1 – VINCOLO DI UGUAGLIANZA TRASVERSALE:** la fase A5 di allontanamento passivo è pari al tempo C15 che serve agli estrattori per completare la loro corsa.

**ESEMPIO 4.2 – VINCOLO DI UGUAGLIANZA IN LINEA:** il tempo di transizione in marcia del robot A6 è pari al tempo che lo stesso robot impiega per realizzare la transizione in folle A4.

**ESEMPIO 4.3 – VINCOLO DI DISUGUAGLIANZA TRASVERSALE:** l'accompagnamento del pistone in apertura D7 deve essere sempre un po' inferiore per motivi di sicurezza al tempo di apertura lenta della macchina C11.

I vincoli di precedenza possono essere invece tanto in linea quanto trasversali: in linea perché giustificano la cronologia di tutte le fasi e per tutti i sottocicli, trasversali in quanto descrivono tutti i legami critici nella costruzione del TC.

**ESEMPIO 4.4 – VINCOLO DI PRECEDENZA TRASVERSALE:** il lubrificatore non può entrare nell'area di ingombro della MPF (inizio B4) se il robot non ha raggiunto il sensore di presenza pezzo (fine A7).

Nella catalogazione dei vincoli attivi di norma si tende a non indicare i vincoli di precedenza in linea, essendo essi naturali ed intrinseci.

Occorre sottolineare che l'esistenza dei vincoli determina per le unità coinvolte la contestuale acquisizione di uno status di unità vincolante (in grado di esercitare la fase in maniera autonoma) o vincolata (la cui fase può essere realizzata in dipendenza dell'altra): dal punto di vista dell'ottimizzazione l'unità critica, cui deve essere rivolta l'analisi, è solo quella vincolante.

Una facoltà di ogni fase a tempo passivo è che la fase precedente, se non ha l'istante di fine vincolato, può allungarsi all'interno della successiva. Per questo motivo essa viene ad avere una durata arbitraria, scelta nella maniera più comoda entro l'intervallo formato dal suo valore minimo e la somma di tale valore con la fase passiva seguente.

Se poi la fase precedente non è vincolata nemmeno nell'istante iniziale allora può addirittura scorrere, fissata una durata compatibile, fino al termine della fase passiva successiva. Facendo riferimento al diagramma di sincronizzazione (Fig. 4.7) ecco due esempi:

**ESEMPIO 4.5:** la fase D13 può allungarsi arbitrariamente nello spazio successivo dell'hp D1 secondo le esigenze di esecuzione di tale fase.

**ESEMPIO 4.6:** le fasi D9 e B2 possono scorrere arbitrariamente nello spazio precedente o successivo.



Per modifica dunque si intende la sostituzione di una fase, la sua riqualificazione, il suo ampliamento o al contrario eliminazione etc; la pianificazione di questo intervento è legata all'attività di ricerca e sviluppo e le innovazioni così prodotte possono essere orientate tanto al prodotto/macchina quanto al processo.

Per riduzione si intende l'accorciamento del tempo di realizzazione di una fase; questo tipo di intervento si persegue attraverso azioni di monitoraggio, manutenzione e gestione delle unità.

Per compressione infine si intende l'accavallamento parziale o totale di più fasi contigue convertendo così parti di tempi critici in tempi nascosti; questo obiettivo è legato all'analisi dei tempi e metodi, talvolta abbinata a progetti d'innovazione.

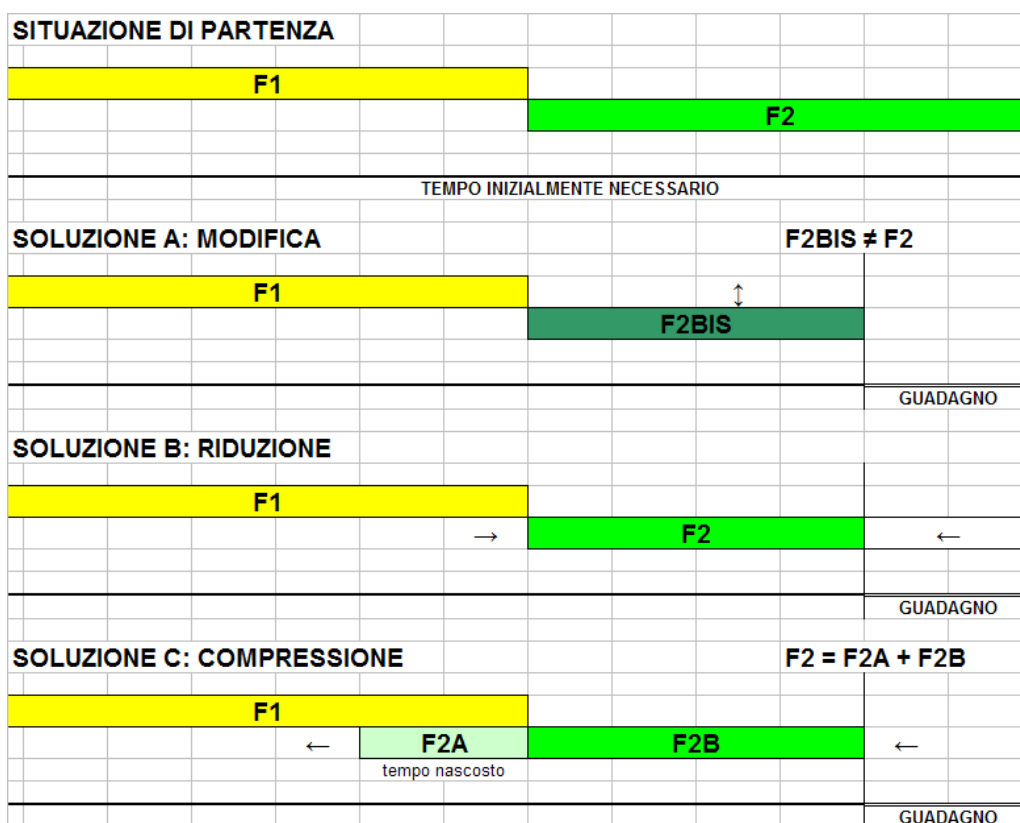


Fig. 4.10 Rappresentazione dei 3 tipi di intervento

Dall'analisi della classificazione proposta si può notare che gli approcci metodologici su cui si basa l'ottimizzazione del TC sono sostanzialmente due:

- approccio manutentivo;
- approccio innovativo.

Il primo fa riferimento a tutta la gamma di interventi che non modificano l'organizzazione del processo e come abbiamo detto pocanzi includono le riduzioni e parte delle compressioni; il secondo invece prevede la possibilità di modificare lo stato dell'arte insistente sull'isola ed include l'altra parte delle compressioni e tutti gli interventi di modifica.

Da un punto di vista prettamente teorico è possibile ipotizzare che il limite inferiore del tempo ciclo ottenibile senza intervenire sulla durata delle fasi ma solo sulla loro interazione sia pari alla massima DB dei sottocicli.

$$LI_{teorico} (TC) = \max (DB)$$

Pertanto la comprimibilità teorica del sistema produttivo, sotto le ipotesi esposte, può esprimersi come:

$$COMPR_{teorica} = [TC - LI_{teorico} (TC)] / TC$$

Se questo indice è molto basso vuol dire che il TC è già molto compresso, quindi gli interventi di ottimizzazione devono essere incentrati sulla modifica e/o riduzione delle fasi; viceversa, più è alto e più teoricamente esistono margini di compressione.

Sottocicli	Tc	DB	COMPR <sub>teorica</sub>	Saturazione
Movimentazione	6,3	69,5	7,69%	84,86%
Lubrificazione	36,9	47,6	45,05%	58,12%
Alimentazione	32,0	74,0	39,07%	90,35%
Chiusura	6,7	81,9	8,18%	100,00%
TOTALE	81,9			

Fig. 4.11 Valori dei tempi dei sottocicli critici durante il monitoraggio di una settimana

Poiché esiste una saturazione dell'unità MPF (gruppo chiusura) del 100% si deve dedurre che non è possibile effettuare ulteriori interventi di compressione ma solo di riduzione o modifica. Si nota inoltre come la criticità della lubrificazione sia preponderante rispetto alle altre, pertanto deve essere il principale oggetto di ottimizzazione.

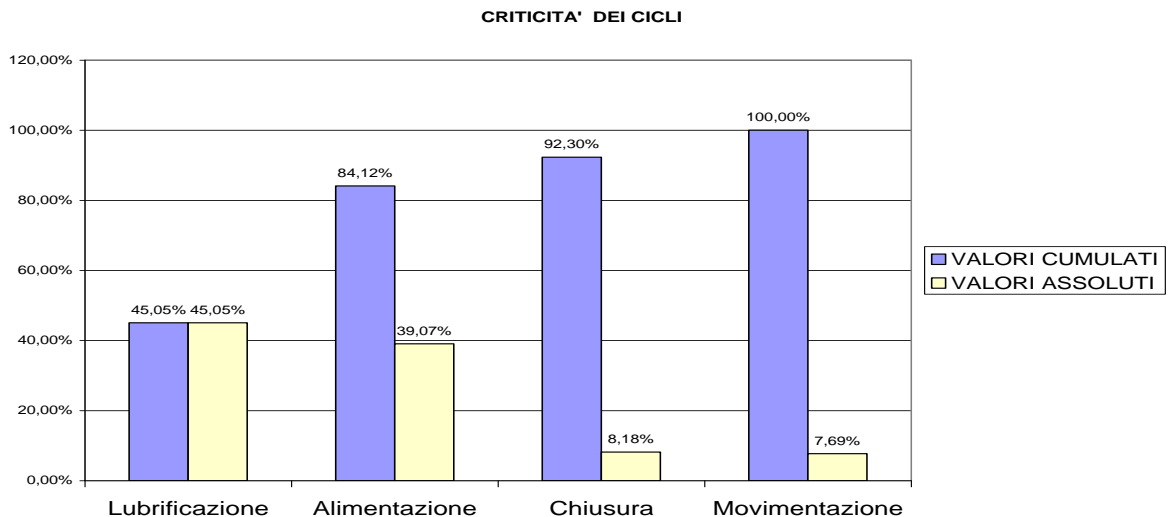


Fig. 4.12 Diagramma di Pareto sulla criticità

Nel diagramma di Pareto (Fig. 4.12) presentato vediamo in bianco le colonne già ordinate in maniera decrescente che rappresentano l'incidenza di ogni unità, in blu i valori cumulati delle stesse: spicca il dato sull'alimentazione e lubrificazione, che insieme hanno un'incidenza prossima all'85%.

La pianificazione degli interventi dipende molto dalle caratteristiche sopra esposte. In Fig. 4.11 è presentato il foglio di miglioramento: esso va compilato ogni volta che cambia qualcosa nella conduzione dell'isola. Dopo la definizione degli interventi verrà steso un nuovo foglio di stato

La struttura di monitoraggio è dunque del tipo:

- fogli di stato
- foglio di miglioramento (definizione degli interventi migliorativi)
- nuovo fogli di stato
- foglio di miglioramento (definizione dei nuovi interventi migliorativi)
- .....

Col passar del tempo viene dunque a prodursi una documentazione storica precisa e completa dell'evoluzione delle prestazioni dell'isola.


SCHEDA MIGLIORAMENTO CICLI							data:	
		FOGLIO DI INTERVENTO			N°			
Denominazione:		Codice:		Esemplare:		Isola:		Ciclo n°:
<b>SUNTO DELLO STATO</b>								
Iniezione	Solidificazione	Apertura	Estrazione	Lubrificazione	Chiusura	Tempo ciclo	Stampate / ora	
<b>RILEVAZIONE PRELIMINATORIA DEI PROBLEMI \ OPPORTUNITA' E DELLE FASI COINVOLTE</b>								
<b>INTERVENTI</b>								
<b>SUNTO DEI RISULTATI</b>								
Iniezione	Solidificazione	Apertura	Estrazione	Lubrificazione	Chiusura	Tempo ciclo	Stampate / ora	
<b>ALTERAZIONE DELLE CONDIZIONI A CONTORNO \ PREVISIONI ED IMPATTI DI LUNGO PERIODO</b>								

Fig. 4.13 Foglio di intervento

Va d'altronde considerato che spesso fare una modifica sul sistema di produzione significa incorrere in inconvenienti non immaginabili all'inizio, come:

- rischio di collisioni;
- inadeguatezza del ciclo di lubrificazione o chiusura;
- aumento dell'incidenza di guasto sul componente migliorato o su altri;
- riduzione della vita utile di componenti soggetti a maggior sforzo;
- modifiche agli equilibri termici delle impronte o degli altri elementi termoregolati.

Peraltro tali conseguenze possono non manifestarsi nel breve termine, dando la percezione ingannevole di aver condotto una buona ottimizzazione<sup>12</sup>.

Come si può vedere il foglio di intervento tiene conto di questi aspetti in quanto dedica una sezione apposita agli impatti di lungo periodo: è pertanto evidente che l'ottimizzazione del tempo ciclo sia però una attività da affidare a persone particolarmente esperte e fortemente competenti sul processo.

## **4.7 TIPI DI INTERVENTO**

A partire dalla classificazione proposta al paragrafo precedente è possibile stilare il seguente elenco dei tipi di intervento, accompagnato da una breve analisi per ogni tipo.

### **4.7.1 CLASSE DEGLI INTERVENTI DI MODIFICA**

#### **MODIFICHE STRUTTURALI DEGLI IMPIANTI PRIMARI ED AUSILIARI**

Consistono nel sostituire un determinato impianto con un altro tecnologicamente più avanzato o comunque più rispondente alle necessità produttive dell'isola; questa voce, molto generica, è dunque adattabile ad ogni tipo di ciclo.

Questo intervento deve essere sostenuto da un accurato studio di fattibilità, di compatibilità con gli altri impianti, di comunicabilità tra i software e soprattutto da una convincente analisi dei costi/benefici.

#### **SOSTITUZIONE, RIGENERAZIONE ED AGGIORNAMENTO DEI MATERIALI DI CONSUMO ED ACCESSORI**

Questo tipo di intervento può garantire maggiore efficienza e produttività agli impianti ed alle macchine. D'altronde modificare un materiale di consumo come per esempio un distaccante è un intervento da valutare accuratamente in quanto, impatti economici a parte, occorre vedere come risponde l'impianto al nuovo prodotto, come e se la qualità dei getti viene alterata ed ovviamente quanti benefici sono ottenibili sul tempo del ciclo di lubrificazione e sul raffreddamento.

#### **RISTRUTTURAZIONE E RIQUALIFICAZIONE DEI CICLI**

La modifica dei cicli è un intervento molto complesso ma che offre i maggiori margini di miglioramento. Per modifica si intende, in questa sede, ogni intervento che produca delle innovazioni di processo, riqualifichi impianti o macchine e determini più efficienti forme di interazione tra le unità. Esempi di ristrutturazione o riqualificazione possono essere la riscrittura del ciclo di lubrificazione mediante l'ausilio di testine dedicate ed analisi termografiche.

Anche in questo caso, l'intervento deve essere sostenuto da un accurato studio di fattibilità, di compatibilità con gli altri impianti, di comunicabilità tra i software e soprattutto da una convincente analisi dei costi/benefici.

---

<sup>12</sup> Un intervento che ad esempio garantisca un risparmio di un secondo su ogni ciclo è certamente interessante, poniamo ad esempio la razionalizzazione del ciclo di lubrificazione; ma se in sua conseguenza si dovesse provocare un'incidenza superiore delle incollature sullo stampo, che spesso obbligano addirittura a smontare lo stampo con perdite di alcune ore, viene vanificato tutto il risparmio di un mese.

## 4.7.2 CLASSE DEGLI INTERVENTI DI RIDUZIONE

### MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA LEGA

Di norma l'ottimizzatore di processo dà per assodate le caratteristiche della lega impiegata in produzione ma è chiaro che se essa è di buona qualità cambiano le caratteristiche fluidodinamiche e dunque le fasi di iniezione e raffreddamento.

La gestione della lega è tuttavia un'attività condotta da altre figure gestionali, pertanto si può al limite auspicare un feedback produttivo simile a quello con il settore della progettazione.

### MANUTENZIONE E CONTROLLO DEGLI IMPIANTI PRIMARI ED AUSILIARI

Questa voce è molto generica ed allude agli interventi ordinari che garantiscono un determinato livello di efficienza delle macchine: la manutenzione in sé non ha controindicazioni, ma il suo esercizio è legato a discorsi di natura economico-produttiva in quanto il più delle volte richiede che gli impianti siano fermi.

Come vedremo nel prossimo capitolo, la manutenzione in ALMEC S.p.A. è di tipo preventivo o più spesso a guasto, e prevede interventi straordinari secondo opportunità di fermo impianti. La possibilità di realizzare degli interventi su condizione consentirebbe un livello di efficienza media superiore a quello attuale e delle performance tecniche più elevate.

### ACCOSTAMENTO DELLE PRESTAZIONI AI LIMITI TECNOLOGICI E RIVISITAZIONE DEI RANGE

Per velocizzare una fase a cui sia associata un parametro fisico (velocità, pressione) si può pensare di aumentare il valore impostato di tale parametro, nel rispetto delle interazioni con le altre unità.

Attenzione però a non esporre l'impianto a condizioni di carico critici (ad esempio con cicli di sforzo eccessivi) perché in tal caso tutti i vantaggi preventivati verrebbero a decadere bruscamente nel medio/lungo periodo. Per esempio, la causa maggiore di usura per un robot non è tanto la sua velocità media bensì i picchi di velocità, le decelerazioni e la taratura di fine corsa.

### OTTIMIZZAZIONE SPAZIALE DELLE QUOTE E DELLE TRAIETTORIE

Consiste nella correzione delle traiettorie delle unità che realizzano moti non vincolati, oppure nella variazione delle quote di fermo (home-position, quote di lavoro, collocazione dei sensori etc). Questo tipo di modifiche può essere realizzato solo se non si inficia negativamente lo svolgimento degli altri sottocicli.

### FEEDBACK DI PROGETTAZIONE DEGLI STAMPI E DEI PRODOTTI

Come noto il ciclo di lubrificazione è progettato e gestito anche per correggere i problemi di termoregolazione dello stampo: se dunque ci fosse una comunicazione tra i reparti di progettazione e produzione si potrebbero segnalare tali questioni che vengono sistematicamente rilevate in fase di termoregolazione. I progettisti così interverrebbero sullo stampo successivo e si potrebbero avere dei grossi benefici, soprattutto sul ciclo di lubrificazione. Ci si potrebbe poi anche soffermare su questioni progettuali di prodotto, come ad esempio la forma dell'attacco di colata: con una migliore ingegnerizzazione si possono ridurre notevolmente i tempi di raffreddamento.



È tuttavia evidente che un intervento come quello di miglioramento di uno stampo ha dei tempi di implementazione lunghi, dai 6 ai 9 mesi a seconda che lo stampo voglia essere solo migliorato o rifatto del tutto, al termine della sua vita utile. Le modifiche alla forma del prodotto inoltre richiedono un attentissimo studio di fattibilità, legato essenzialmente alla qualità del nuovo getto e alle conseguenze sulla termoregolazione della riduzione del raffreddamento, oltre che alle esigenze del cliente.

### 4.7.3 CLASSE DEGLI INTERVENTI DI COMPRESSIONE

#### ANTICIPI E SINCRONIZZAZIONI

Gli anticipi consistono nella possibilità di partizionare la seconda di due fasi legate ad un vincolo di precedenza nel modo seguente: una prima quota anticipata, in cui si possono condurre le azioni senza intralci (in tempo nascosto), una seconda quota, legata alla contingenza di fasi appartenenti ad altri sottocicli, rallentata dall'attesa di esse ma per lo meno più breve della intera fase di partenza, essendo alcune azioni già state svolte.

Le sincronizzazioni invece prevedono che, se un'unità realizza movimenti indipendenti in una stessa fase, si può pensare di accavallarli più o meno parzialmente producendo un risparmio pari alla dimensione della sovrapposizione. In pratica anticipo e sincronizzazione sono entrambe ottimizzazioni cronologiche tuttavia mentre l'anticipo si realizza tra fasi mutuamente vincolate, la sincronizzazione si realizza tra fasi non vincolate.

Realizzare una compressione è un'attività comunque molto vasta in quanto ammette la possibilità di intervento per ogni coppia di fasi contigue: l'ordine di grandezza di questo tipo di intervento è pertanto pari al numero complessivo delle fasi di tutti i cicli.

Gli anticipi non si possono sempre realizzare in quanto esistono molti vincoli tra i sottocicli; si deve peraltro ricordare che quando un TC si riduce significativamente si possono avere ripercussioni sul raffreddamento e quindi può diventare necessario rivedere il ciclo di lubrificazione, realizzando così un feedback negativo sullo stesso TC.

## 4.8 CREAZIONE DI UNA CHECK-LIST DEGLI INTERVENTI

Ognuno degli interventi proposti va coniugato con i 4 sottocicli critici, producendo un elenco omnicomprensivo delle azioni di miglioramento che di fatto possono essere condotte sull'isola.

Naturalmente non è detto che ad ogni tipo corrispondano necessariamente 4 modi di applicazione: possono essere meno, quando qualche unità non ha caratteristiche tali da rendere significativo o consentire quel intervento (vedi il feedback di progettazione dello stampo per il robot o la modifica delle quote di lavoro per il pistone), ma possono anche essere di più, quando su una unità l'intervento può essere interpretato in più modi (l'esempio più eclatante sono gli anticipi e le sincronizzazioni).

Nel seguito è presentata la catalogazione dei tipi di intervento, coniugati secondo i modi di applicazione che è stato ritenuto significativo considerare.

Ogni voce è stata messa in relazione ai tempi e costi di implementazione.

I tempi di implementazione possono essere:

- Brevi (B) se dell'ordine dei secondi \ minuti;
- Medi (M) se dell'ordine delle ore \ giorni;
- Lunghi (L) se dell'ordine delle settimane \ mesi.

I costi di implementazione, con ordine di grandezza la spesa economica:

- Zero (Z) se nulli o trascurabili;
- Quasi zero (QZ) se non nulli ma poco significativi;
- Significativi (S) se determinano un importante onere finanziario.

		INTERVENTO			TEMPI			COSTI		
		B	M	L	Z	QZ	S			
<b>MODIFICHE STRUTTURALI DEGLI IMPIANTI PRIMARI ED AUSILIARI</b>										
1	Acquisizione di impianti a maggior efficienza e/o tecnologicamente evoluti, in sostituzione o in affiancamento agli esistenti			X		X		X		
2	Razionalizzazione del layout		X			X				
3	Rimozione di parti, componenti macchine etc e conseguente riqualificazione delle altre		X		X					
4	Ristrutturazione del sistema di ugelli e canne della testina		X			X				
5	Impiego di testine dedicate		X					X		
6	Scomposizione del ciclo di lubrificazione in parte acqua e parte olio		X		X					
7	Lubrificazione parziale o totale attraverso cannoncini montati a bordo stampo o sul robot o sulla struttura di sostegno del sensore presenza pezzo			X		X				
8	Aggiunta di nuovi sensori in posizioni critiche		X		X					
9	Desensibilizzazione dalla canalina o altri elementi marginali	X			X					
<b>SOSTITUZIONE, RIGENERAZIONE ED AGGIORNAMENTO DEI MATERIALI DI CONSUMO ED ACCESSORI</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>			
10	Sostituzione o aggiornamento degli oli lubrificanti dei componenti in moto, degli oli impiegati negli accumulatori oleodinamico di pressione, dei fluidi diatermici di raffreddamento etc	X			X					
11	Sostituzione o aggiornamento del distaccante impiegato nel circuito di lubrificazione	X			X					
<b>RISTRUTTURAZIONE E RIQUALIFICAZIONE DEI CICLI</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>			
12	Realizzazione di cicli di lubrificazione dedicati		X		X					
13	Analisi innovativa di ogni fase (nuove tecnologie di raffreddamento, di estrazione del pezzo, di iniezione, di controllo della lega etc)			X	X					
14	Alterazione delle sequenze di lavoro dei sottocicli			X	X					
15	Analisi della saturazione delle unità e pianificazione di scopi più complessi o del tutto ridefiniti, lavorando sia sulle fasi di lavoro che sulle fasi morte	X	X		X					

<b>MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA LEGA</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>
16	Ottimizzazione della composizione della lega	x			x		
<b>MANUTENZIONE E CONTROLLO DEGLI IMPIANTI PRIMARI ED AUSILIARI</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>
17	Aggiustamento del ciclo di lubrificazione in seguito al controllo dell'efficienza dell'impianto di miscelazione	x			x		
18	Aggiustamento del ciclo di lubrificazione e di solidificazione in seguito al controllo dell'efficienza dell'impianto di raffreddamento dello stampo	x			x		
19	Messa in efficienza dei componenti di ogni unità		x		x		
20	Manutenzione delle elettrovalvole responsabili delle pressioni dei fluidi		x		x		
21	Pulitura o sostituzione dei circuiti e degli ugelli parzialmente o completamente intasati		x		x		
22	Pulitura o sostituzione delle cannette di lubrificazione, controllo dell'esatto posizionamento ed angolazione	x			x		
23	Sostituzione delle parti cui venga associata un'inefficienza legata all'usura		x		x	x	
24	Manutenzione del software orientata al superamento di determinati vincoli ed alla eliminazione dei tempi d'inerzia		x			x	
25	Ottimizzazione delle tarature e dei parametri macchina		x			x	
<b>ACCOSTAMENTO DELLE PRESTAZIONI AI LIMITI TECNOLOGICI E RIVISITAZIONE DEI RANGE</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>
26	Accostamento delle impostazioni di velocità ai limiti tecnologici per il robot ed il lubrificatore	x			x		
27	Accostamento di altre variabili fisiche ai limiti tecnologici	x			x		
28	Controllo termografico in generale e controllo visivo dei sintomi di sforzo sulla materozza per ottimizzare il tempo di raffreddamento (se vengono rilevate criticità occorre intervenire al contrario per ridurre il rischio di non qualità)		x			x	
<b>OTTIMIZZAZIONE SPAZIALE DELLE QUOTE E DELLE TRAIETTORIE</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>
29	Modifica delle quote di lavoro di tutte le unità in moto vincolato	x			x		
30	Ottimizzazione della distanza degli ugelli dagli stampi	x			x		
31	Controllo del tipo di getto e delle angolazioni di tutti gli ugelli e cannette	x			x		
32	Collocazione dei sensori in punti ottimizzati rispetto alle traiettorie, agli altri cicli etc	x			x		
33	Rivisitazione al punto più vicino, rispetto ai moti condotti, di tutte le home position	x			x		
34	Collocazione più razionale delle unità nell'isola		x			x	

35	Ottimizzazione della traiettoria percorsa dal robot	x			x		
36	Ottimizzazione dell'angolo di inclinazione della canalina	x			x		
<b>FEEDBACK DI PROGETTAZIONE DEGLI STAMPI E DEI PRODOTTI</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>
37	Segnalazione ai progettisti dello stampo dei punti con problemi di termoregolazione e difficilmente lubrificabili		x	x	x		
38	Segnalazione ai progettisti del pezzo delle geometrie poco efficienti del pezzo, del canale di colata e della materozza in termini di tempo di raffreddamento		x	x	x		
<b>ANTICIPI</b>		<b>B</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>Z</b>	<b>QZ</b>	<b>S</b>
39	Compattazione di tutte le fasi attigue appartenenti ad uno stesso sottociclo, non vincolate da una sequenza rigida	x	x		x		
40	Compattazione di tutte le fasi attigue appartenenti al ciclo ma non allo stesso sottociclo, non vincolate da una sequenza rigida	x	x		x		
41	Sincronizzazione di fasi attualmente consecutive mediante accorgimenti tecnologici e/o logistici	x	x		x		

## 4.9 SCELTA E PRIORITÀ DEGLI INTERVENTI

Una volta chiaro il quadro delle possibilità d'azione ci si devono porre alcune domande:

- tra quali degli interventi proposti è possibile scegliere effettivamente?
- quali interventi, all'interno dei possibili, conviene realizzare?
- in quale ordine?

La risposta a queste domande è legata alla schematizzazione proposta: gli interventi fattibili sono infatti solo quelli abbinati ad uno studio di fattibilità positivo, che abbia cioè stimato i benefici di lungo periodo superiori ai costi.

Tra gli interventi fattibili si può in seguito procedere a costruire un elenco ordinato cronologicamente secondo il tempo di implementazione minore ed il costo minore.

Per valutare il margine di beneficio ottenibile si può invece ordinare le unità critiche per indice di criticità o saturazione crescente.

Infine occorre valutare il supporto tecnico necessario per la messa in atto. Ognuno di questi interventi infatti coinvolge un'area tra progettazione, produzione e manutenzione e deve quindi essere pianificato in armonia con essa, sottostando peraltro alle priorità ordinarie che tali aree devono rispettare.

In linea di massima comunque conviene sempre realizzare gli interventi nei periodi di inattività dell'isola.

### ESEMPIO DI OTTIMIZZAZIONE DEL TEMPO CICLO

Osservando il ciclo di movimentazione di una scatola cambio di grosse dimensioni sulla MPF 28, che esprimeva un TC di 83,5 secondi, si osservò che la fase di stretta delle pinze sulla materozza era troppo lunga (circa 1,5 secondi); per questo motivo si è ricorso all'intervento di un tecnico programmatore, per ridurre il tempo associato a quella sottofase fino a 0,5 secondi, ritenendo infatti che mezzo secondo è un tempo adeguato per garantire una sufficiente presa da parte del robot.

Il tempo ciclo è così sceso ad 82,5 secondi.

In seguito, poiché il robot avrebbe comunque potuto lavorare più velocemente, si è intervenuti sulla velocità dello stesso in uscita dagli stampi (impostando il valore di velocità al 55% della massima ammessa) aumentandola da 3000 a 4000mm/s.

Contestualmente si era notato che la quota di partenza della pinza non era in linea con quella della materozza; pertanto la si è abbassata di 15 cm.

Il tempo ciclo si è così ulteriormente ridotto fino a 81,9 secondi.

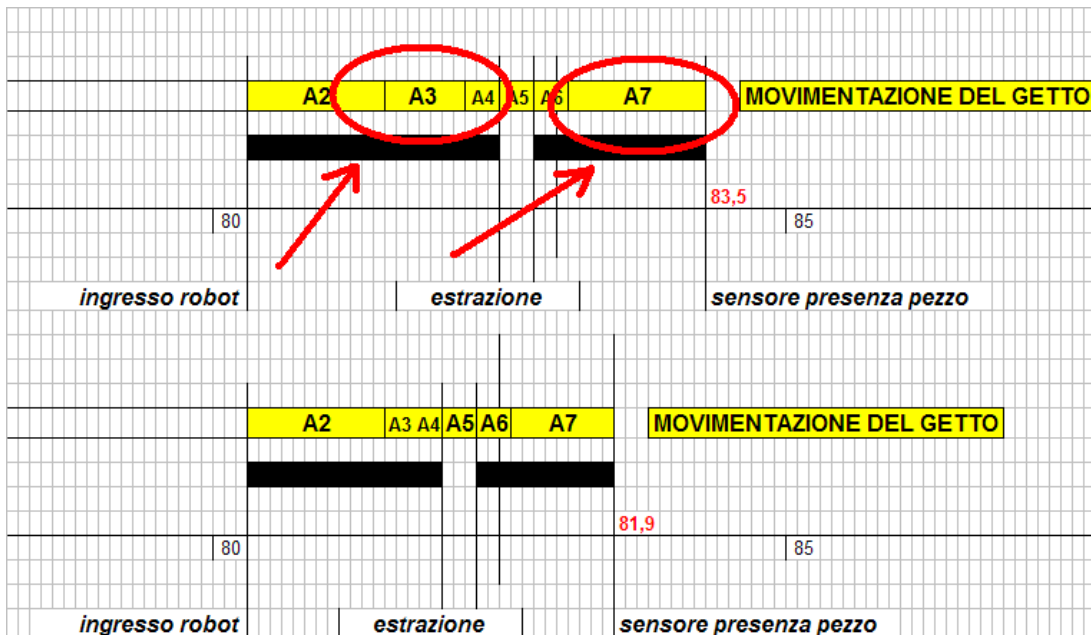


Fig. 4.14 Rappresentazione dell'intervento

Questi miglioramenti non hanno prodotto inefficienze in altre fasi del ciclo, né rischi di collisione alcuna, pertanto sono stati acquisiti stabilmente presso l'isola.

#### SIGNIFICATIVITA' DELL'INTERVENTO

Si consideri che ad un tempo ciclo di 83,5 secondi corrisponde una produzione di 43,1 stampate/ora, mentre al valore di 81,9 secondi una produzione di 44,0 stampate/ora. Solo sulla MPF 28 sono dunque stati guadagnati 5,4 pezzi a turno, 21,6 pezzi al giorno. Se pertanto adesso si immaginasse di trasferire questo intervento sulle altre 43 isole dello stabilimento, nell'ipotesi esso fosse fattibile su tutte le MPF mediamente con lo stesso beneficio ed a partire da un tempo ciclo assimilabile a quello considerato, si giungerebbe ad un guadagno complessivo pari a 950 pezzi al giorno.



Il dato sulla sostituzione delle fasce serve all'area magazzino per conoscere il fabbisogno di fasce; quelli sulla pulizia servono invece nell'ottica di una manutenzione minuta e per responsabilizzare l'operatore.

Il pit stop è un fermo di breve durata (circa 10 minuti) in cui vengono eseguite operazioni di manutenzione spicciola, dalla pulizia delle superfici dello stampo al rabbocco dell'olio al controllo visivo delle spine alla rimozione di pezzi di scarto dal vassoio della MPF.

È stato recentemente disposto che debba essere eseguito ad ogni turno, o su opportunità quando possibile o intenzionalmente fermando l'isola per il tempo necessario.

Un dato di particolare rilevanza è dato dagli scarti in autoriduzione ed a regime: come da capitolo precedente, a seguito di un fermo la produzione riprende passando per una fase transitoria in cui i parametri di produzione sono ridotti, detta di autoriduzione. In questa fase i getti prodotti sono considerati scarti in quanto presentano caratteristiche meccaniche basse e spesso sono esteticamente imperfetti, presentando macchie scure dovute alla lubrificazione manuale mediante altro tipo di distaccante che lascia traccia sulla pelle del getto.

Un'isola di pressofusione produce scarti quasi esclusivamente durante l'autoriduzione e nell'immediata fase successiva (scarti a regime): l'operatore è tenuto a riportare questi dati al fine di determinare la qualità della produzione.

Altri scarti che potrebbero rilevarsi in regime di produzione standard non compaiono nella scheda in quanto non hanno determinato fermo; tuttavia questa imprecisione informativa è particolarmente bassa, in quanto è stato verificato che gli scarti determinati sotto queste condizioni sono significativamente inferiori all'0,1% del totale della produzione.

### 5.1.1 INFLUENZA DELL'OPERATORE

La consultazione dei dati trasmessi ha messo in evidenza che a volte gli operatori non eseguono questa disposizione compilativa, oppure la eseguono ma in maniera errata, imprecisa, lacunosa o approssimativa, o ancora non hanno una percezione esatta della causa del fermo. Inizialmente però questa condizione è stata assorbita come fisiologica, essendo tali operatori non abituati a fornire un simile numero di informazioni, peraltro dovendo riportarle in tempo reale sulla scheda per non perdere memoria dei dettagli di alcun episodio.

Questi problemi comunque hanno comportato la necessità di sensibilizzare il gruppo degli operatori e dei capi turno, istruendoli sulla corretta compilazione.

D'altro canto infatti si è compresa la criticità del coinvolgimento dell'operatore nel processo di miglioramento, pertanto la scheda offre appositi spazi in cui egli può fornire proprie considerazioni sull'andamento dell'isola (note isola di lavoro) o sulla specifica causa di guasto (note & suggerimenti), nella convinzione che gli operatori siano empiricamente i migliori conoscitori dell'isola e del processo.

Un altro aspetto che è emerso dalla compilazione delle schede è che si sarebbero dovute codificare le cause di fermo secondo i codici standard forniti dalla macchina Buhler, tuttavia questa direzione non è stata imboccata per non complicare troppo la transizione al nuovo modello di controllo.

Infine si fa presente che, a fronte di una descrizione del fermo incoerente, può realmente succedere che una stessa causa di fermo produca fermi molto diversi. La rottura di una spina può avere ad esempio tempi di ripristino molto diversi a seconda dell'altezza di rottura: la rottura a metà lunghezza per esempio comporta un semplicissimo intervento di svitaggio a



mano; la rottura alla radice invece comporta un molto più lungo e pericoloso<sup>13</sup> intervento di saldatura sulla radice, in modo da avere una parte afferrabile da cui svitare.

Allo stesso modo, l'incollaggio di un pezzo o di una sua parte sulle impronte può essere risolto direttamente tra gli stampi con la fiamma, oppure si deve smontare integralmente lo stampo nei casi più complessi, con una perdita di tempo significativa.

## 5.2 ANALISI DEI DATI

I dati rilevati turno per turno nell'arco di settimane sono stati inseriti all'interno di opportuni fogli di analisi, che hanno consentito la valutazione di numerosi aspetti.

In primo luogo si è potuto monitorare il reale andamento della produzione isola per isola, valutando poi la costanza della produzione ed il confronto con i target aziendali.

Nella Fig. 5.2 è mostrato un recente andamento della produzione per la MPF 28.

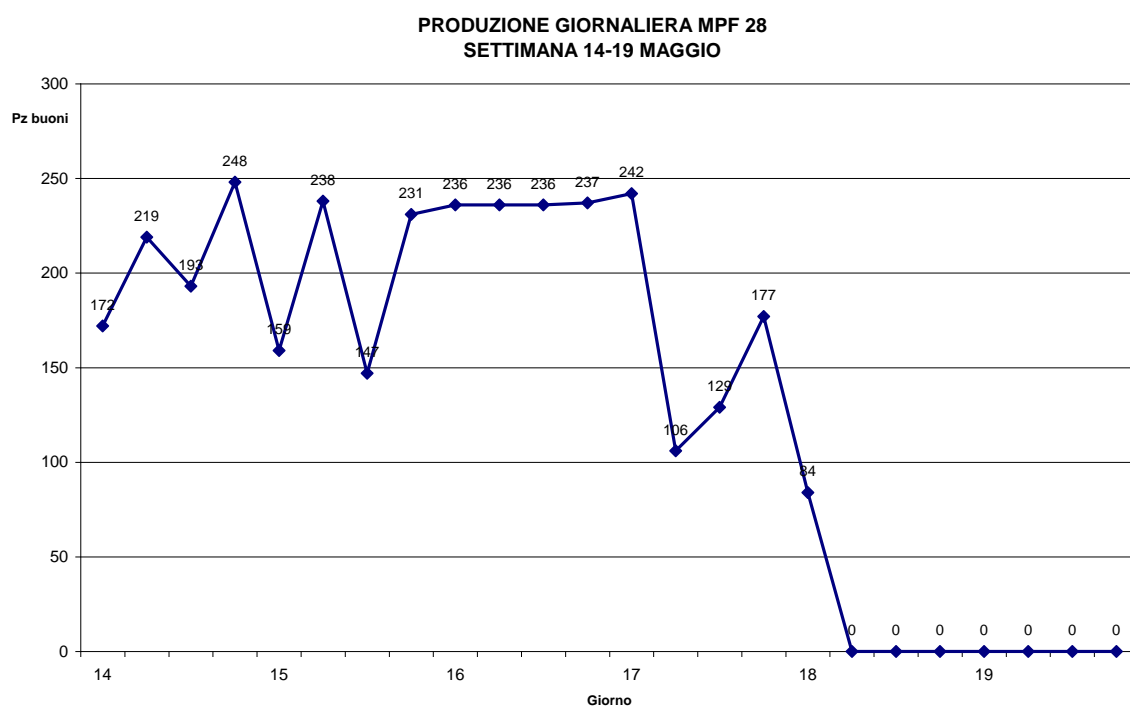


Fig. 5.2 Andamento della produzione fino al giorno 18

Questo diagramma, come molti altri elaborati nel periodo di monitoraggio, sono stati pubblicati a bordo macchina in modo da sensibilizzare l'attenzione degli operatori e fargli percepire il feedback del loro lavoro.

Tuttavia si è cercato di omettere riferimenti troppo precisi al singolo turno, di modo da non alimentare percezioni inquisitorie negli stessi.

<sup>13</sup> La saldatura direttamente sullo stampo può infatti danneggiarlo irrimediabilmente, per questo l'intervento va fatto con estrema cura.



Fig. 5.3 Pubblicazione dei risultati

Attraverso il calcolo della deviazione standard dei valori diagrammati si è potuto avere un indice quantitativo della costanza della produzione dell'isola.

Nel caso proposto in Fig. 5.2, che corrisponde al valore di settimana 20 nel diagramma successivo, si notano due giorni di mancata produzione per mancanza lega: in tal caso la deviazione standard è stata misurata sia in maniera integrale (100,06) che dopo decurtazione degli ultimi due giorni (46,06). È prassi condurre delle misurazioni nella doppia modalità, in modo da depurare i dati da anomalie non consuetudinarie.

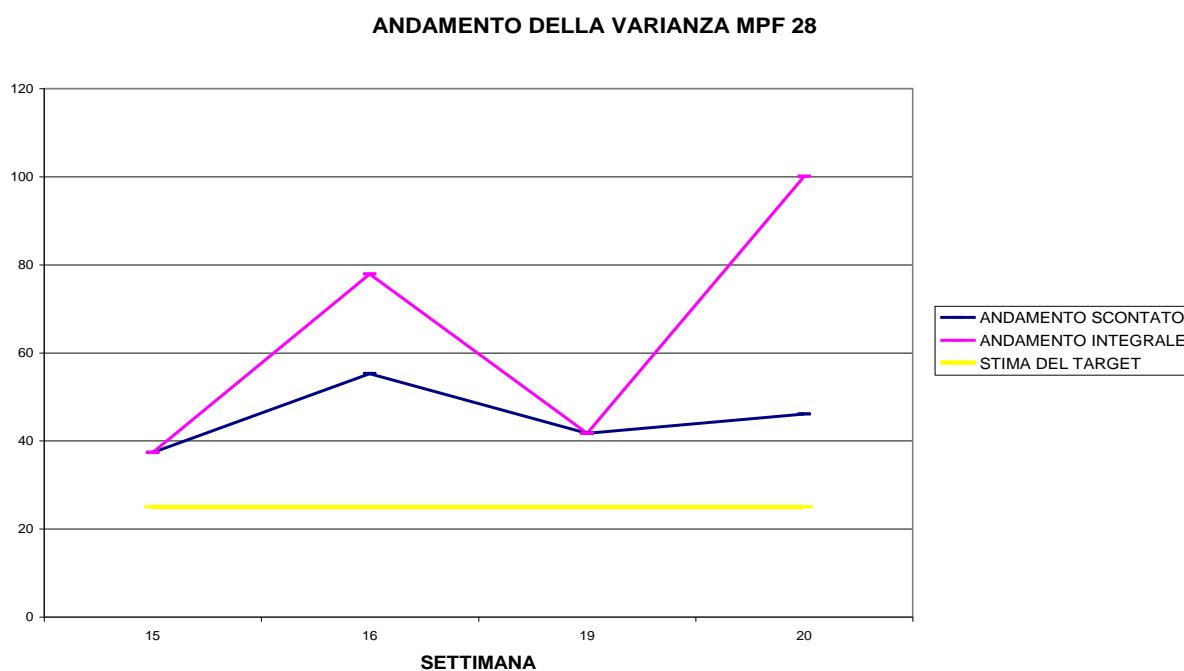


Fig. 5.4 Il controllo della varianza come strumento di monitoraggio della costanza di produzione

È evidente che l'ideale sarebbe una deviazione standard prossima a zero (in gergo si parla di "altopiano" per indicare questa condizione di produttività costante ed alta); più realisticamente però si può ritenere che il target aziendale debba attestarsi a  $25 \div 35$ .

Vediamo un altro diagramma:

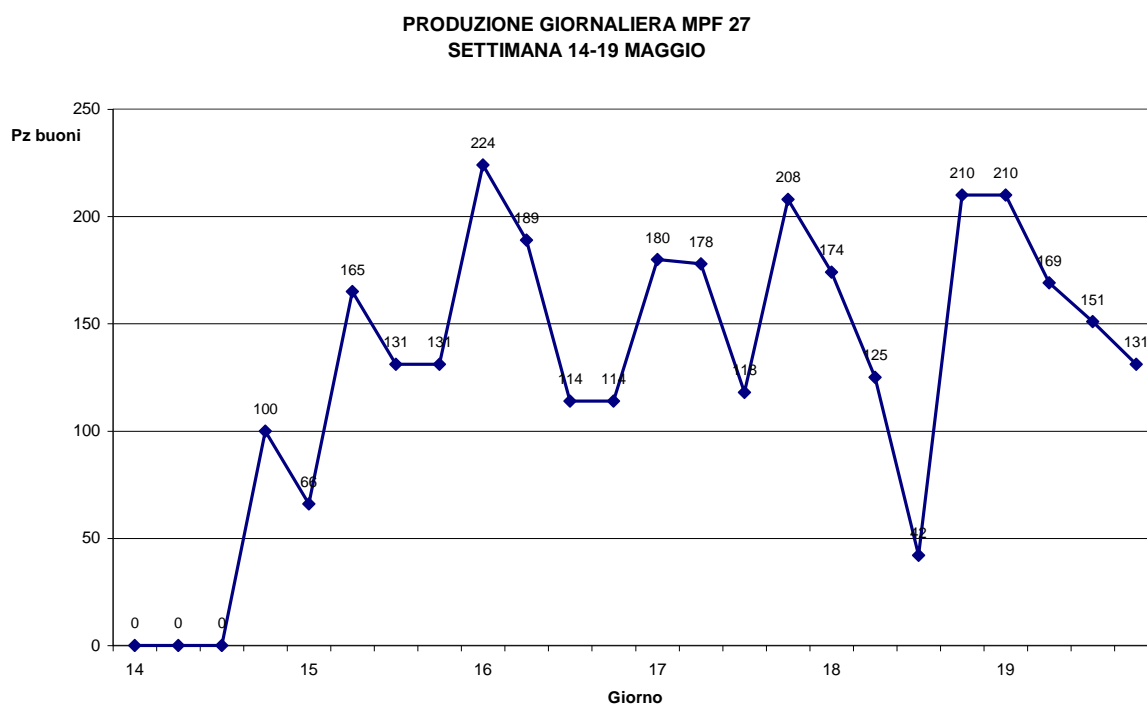


Fig. 5.4. Andamento della produzione dal giorno 15

In questo caso la deviazione standard è pari a 67,65 nella settimana, 48,35 omettendo i dati del lunedì 14 (un giorno intero è stato perso per ripristinare una spina).

Ecco, proprio questo dato fa riflettere su come a volte si tenda ad approssimare di fatto un fermo ad un turno o suo multiplo: considerato infatti che nella peggiore delle ipotesi una spina possa essere rimossa in 3÷4 ore, il dato presentato segnala una severa inefficienza (deviazione standard cresciuta quasi del 40%).

### 5.2.1 CAUSE DI FERMO

A seguito di numerosi rilevamenti è emerso un dato significativo sulla gestione dei fermi: essi tendono ad essere risolti con maggior lentezza in corrispondenza dei turni notturni e dei giorni finali della settimana. Questo significa che non vi è un atteggiamento da parte degli addetti alla produzione e manutenzione sempre efficiente.

Le cause di fermo sono state analizzate una ad una e raggruppate nelle seguenti macroaree:

- Risorse (mancanza energia, mancanza lega etc);
- Qualità (scarti e non conformità);
- Manutenzione e balance (fermi macchina vari o interventi preventivi).

Alla voce manutenzione e balance, come detto, fanno capo essenzialmente tutte le cause di fermo registrate presso un'isola. La differenza tra manutenzione e balance consiste nel fatto che le voci di fermo relative alla manutenzione hanno comportato un intervento da parte dei

manutentori; i fermi raggruppati come balance sono stati gestiti invece direttamente dall'operatore a bordo isola.

Le aree su cui si sono applicate le voci manutenzione e balance sono state:

- Software;
- Forno;
- Iniezione;
- Stampo;
- Robot;
- Trancia.

Nella Fig. 5.5 è presentato nel dettaglio il foglio di analisi dei dati di fermo. In esso sono riassunti tutti i concetti finora esposti: dal dettaglio sui fermi (incidenza, gravità, raggruppamento in macroaree) alla produzione buona, dalla deviazione standard all'indice di efficienza etc.

Si può notare in particolare che le cause di fermo riconducibili a manutenzione sono state abbinate a quelle dovute a balance in quanto esprimono sostanzialmente due livelli di sensibilità degli operatori nell'approccio allo stesso problema.

Più specificamente, ad ogni causa di fermo sono stati abbinati i seguenti dati riferiti ad una singola settimana:

- frequenza;
- incidenza delle cause di fermo, in assoluto e rispetto al totale.

Inoltre si è considerato il dato giornaliero aggregato e rispetto ad esso sono stati valutati:

- disponibilità della MPF;
- produzione giornaliera;
- produttività giornaliera a rubrica (cioè richiesta dalla cliente finale) e tecnica;
- fermi programmati;
- tempi medi corrispondenti alla produzione di un getto.

I casi di fermi programmati della produzione non sono stati considerati nel calcolo dell'efficienza delle isole.

ELABORAZIONE DEI DATI D'INGRESSO DELLA SCHEDA RIEPILOGO MPF 28 CODICE 985823 STAMPO I/3 - SETTIMANA 20												
MACRO AREE	TIPI DI CAUSE	FREQ	TEMPI CUMUL	TEMPI CUMUL	INCID causa / macroarea	INCID macroarea / totale	LUN 14 mag	MAR 15 mag	MER 16 mag	GIO 17 mag	VEN 18 mag	SAB 19 mag
<b>RISORSE</b>	mancanza lega	1	540	560	96,43%	37,31%					540	
	mancanza energia elettrica		0		0,00%							
	mancanza lubrificante	2	20		3,57%					20		
	mancanza olio		0		0,00%							
	cassone materozze pieno (mancanza carrellista)		0		0,00%							
Mancanze di mo, manutentori e ricambistica non sono rilevabili												
<b>QUALITA'</b>	avviamento	1	45	122	36,89%	8,13%	45					
	pit stop	6	77		63,11%		15	15	25	22		
Avviamenti per fermi inferiori ad 1 ora sono conteggiati nel guasto												
<b>MANUTENZIONE &amp; BALANCE</b>												
<b>SOFTWARE</b>	transizione spontanea in semiautomatico (forno)		0	0	0,00%	0,00%						
	manutenzione plc		0		0,00%							
<b>FORNO</b>	contatto azionato più volte, probl ai compressori		0	181	0,00%	12,06%						
	sfato troppo tardi \ troppo lento (coincide caricam)		0		0,00%							
	mat. fuorirange/blocco rbt in mpf\pz nello st\caric forn	37	181		100,00%		48	46	60	27		
	versamento lega		0		0,00%							
	sostituzione piastra isolazione dosatore		0		0,00%							
<b>INIEZIONE</b>	pistone time out ritorno\ anomalia lubrificatore pistone	4	34	144	23,61%	9,59%		4		30		
	parametri fuori range		0		0,00%							
	grippaggio pistonel perdita acqua dall'asta	1	10		6,94%					10		
	intervento sul gocciolatore olio pistone	2	70		48,61%			70				
	sostituzione pistone \ stelo \ fasce	1	30		20,83%					30		
<b>STAMPO</b>	perdita acquaiolio \ sostituzione tubo		0	462	0,00%	30,78%						
	pezzo incollato	2	270		58,44%					210	60	
	grippaggio radiali		0		0,00%							
	sostituzione estrattore \ ripristino estrattore in rilievo	3	162		35,06%			162				
	lucidatura stampo e radiali PM	1	30		6,49%		30					
	rottura trottolina radiale		0		0,00%							
<b>ROBOT</b>	blocco in trancia (causa fagioli o parti materozza)	3	13	26	50,00%	1,73%			5	8		
	blocco nello stampo \ anomalia pinza	2	13		50,00%				13			
	time out funzionamento motori		0		0,00%							
<b>TRANCIA</b>	anomalia discesa stampo trancia \ pozzetto in stampo	1	6	6	100,00%	0,40%	6					
	saldatura stampo \ rottura smaterozzatore		0		0,00%							
		TOT	1501		TOT TEMPI DI FERMO		144	297	103	357	600	0 MED
0,81%	BALANCE	50	DISPONIBILITA' DELLA MPF (D)		90%	79%	93%	75%	58%	100%		
12,46%	MANUTENZIONE	769	MIN/SETT		I	172	159	236	242	84	0	
3,40%	QUALITA'	210	8640		II	219	238	236	106	0	0	
9,07%	ORGANIZZAZIONE	560	SOMMA		III	193	147	236	129	0	0	
74,26%	PRODUZIONE BUONA	4584	6173		IV	248	231	237	177	0	0	
		STAMP/1/H			DAILY	832	775	945	654	84	0	3290
		TARGET AZIENDALE (T)	40	960	DAILY %T	87%	81%	98%	68%	9%	0%	57%
144	TARGET PERCENTUALE	60%	576		Check line	OK	OK	OK	OK	!!!	!!!	
Nell'ipotesi che la variabilità del tempo ciclo a regime sia quasi nulla		TEMPO CICLO MEDIO GIORN			82,2	84,0	84,2	83,6	83,8	83,8	83,6	
RICORRENZA SETTIMANALE DEI FERMI		67	STAMPATE/ORA		43,8	42,9	42,8	43,1	43,0	43,0		
SCOSTAMENTO T. DISPONIBILE/REGISTRATO		308	POTENZIALITA' PRODUTTIV (P)		1051	1029	1026	1033	1031	1031		
INDICE INCERTEZZA PER FERMO		4,6 min	DAILY %P		79%	75%	92%	63%	8%	0%	53%	
Nell'ipotesi che l'operatore intende il fermo frito quando cessa l'autorid.		SCARTI IN AUTORIDUZIONE			25	12	3	2	5	1		
		SCARTI (A REGIME ED OPER)			18	20	18	6	1	0		
DEVIAZIONE STANDARD PRODUZIONE		100,06	T. DI NON QUALITA' A REG		25	28	25	8	1	0	88	
senza venerdì e sabato		46,06	PRODUZIONE COMPLESSIVA		875	807	966	662	90	1		
Nell'ipotesi che in autoriduzione i tempi si maggiorino del 50%		TEMPO PER PROD COMPL			1216	1138	1358	924	129	2		
		DISPONIBILITA'			84%	79%	94%	64%	9%	0%	55%	
		FERMI PROGRAMMATI GIORN			0	0	0	0	720	1439	2159	
		AVAILABILITY (A)			0,8444	0,7904	0,9429	0,6415	0,1794	2,0950	92%	
		EFFECTIVENESS (E)			1,0949	1,0714	1,0689	1,0766	1,0740	1,0740		
		QUALITY (Q)			0,9509	0,9603	0,9783	0,9879	0,9333	0,0000		
		OEE (A*E*Q)			88%	81%	99%	68%	18%	0%	59%	

Fig. 5.5 Esempio di elaborazione dei dati d'ingresso della scheda di monitoraggio

### 5.3 GESTIONE DELLA MANUTENZIONE

La gestione della manutenzione si occupa di garantire la disponibilità dei sistemi, l'economicità della conduzione dei sistemi, la loro sicurezza e l'impiego ottimale delle risorse ambientali.

Una prima distinzione da evidenziare è quella tra strategie e politiche manutentive: mentre le prime descrivono l'approccio operativo ai problemi della manutenzione, le politiche indicano l'atteggiamento complessivo che l'organizzazione assume nei confronti delle stesse problematiche.

Per quanto riguarda le politiche si annovera la Reliability Centered Maintenance (RCM) e la Total Productive Maintenance (TPM); le strategie manutentive includono la manutenzione a guasto, la manutenzione preventiva (su condizione o secondo programma), la manutenzione predittiva e la manutenzione migliorativa.

Nell'ALMEC S.p.A. la politica manutentiva adottata è principalmente quella a guasto, più di rado quella preventiva. Questa soluzione è legata al fatto che la squadra di manutentori è dimensionata per un numero di macchine inferiore a quelle disponibili in azienda (attualmente più di 40), o comunque ad un livello di difettosità delle macchine inferiore a quello attualmente in atto; inoltre la ridotta capacità del personale a bordo macchina di condurre un'efficiente auto-manutenzione aggrava la mole di interventi.

Il personale manutentivo non è in grado di intervenire nel caso dell'occorrenza di anomalie troppo tecniche in quanto gli impianti installati presentano un contenuto tecnologico elevato: ad esse si deve far fronte con manutentori provenienti dalle stesse aziende fornitrici dei macchinari, spesso legate all'azienda da appositi contratti di assistenza: questi sono di norma gli interventi stabiliti preventivamente e vengono fissati in periodi di fermo impianti.

Resta infine la considerazione sulla necessità che operatori e manutentori frequentino dei corsi di formazione ed aggiornamento specifici sulla gestione e manutenzione ordinaria delle macchine: questi corsi dovrebbero essere organizzati in sede per permettere al maggior numero possibile di persone dello staff ALMEC S.p.A. di acquisire nuove conoscenze.

Per quanto riguarda la gestione della mole informativa in questo reparto, essa risultava obsoleta: a questo problema ha fatto recentemente fronte il piano di acquisizione di un nuovo software di gestione della manutenzione.

La raccolta dei dati di fermo è il primo passo per stilare dei nuovi piani di manutenzione secondo frequenza e gravità, come mostrano le figure seguenti.

TREND DEI TEMPI DI FERMO RAGGRUPPATI PER MACROAREE MPF 28

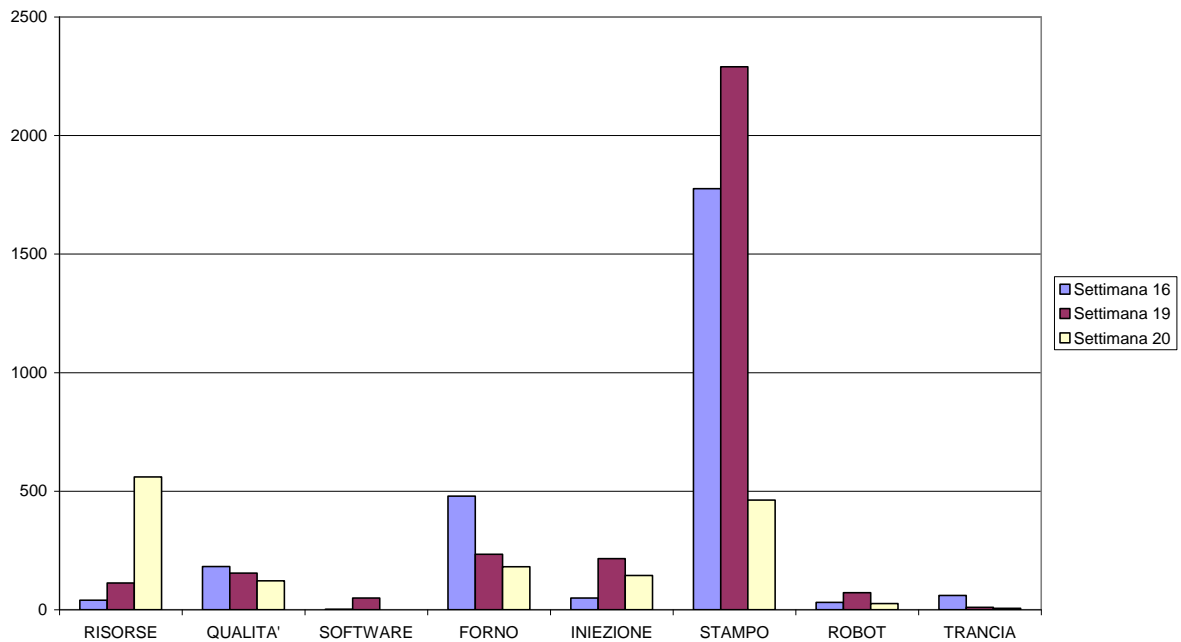


Fig.5.6 Evoluzione dell'incidenza dei fermi calcolati in minuti

Nel diagramma di Fig. 5.6 è possibile osservare come si è ridotto il peso di alcune voci di guasto a seguito degli interventi di manutenzione realizzati sulla MPF 28 nelle settimane 17 e 18.

La voce risorse esprime tutte le cause di fermo riconducibili a problemi organizzativi (mancanza lega, mancanza manodopera, mancanza energia...); la mancanza lega ha avuto una incidenza significativa sulla produzione in quanto l'azienda ha avuto una fase transitoria di sostituzione dei propri fornitori.

Resta comunque il fatto che a seguito dei dati raccolti nelle precedenti settimane e che avevano evidenziato una certa criticità dei forni, sono stati fatti degli interventi specifici su di essi producendo dei significativi miglioramenti.

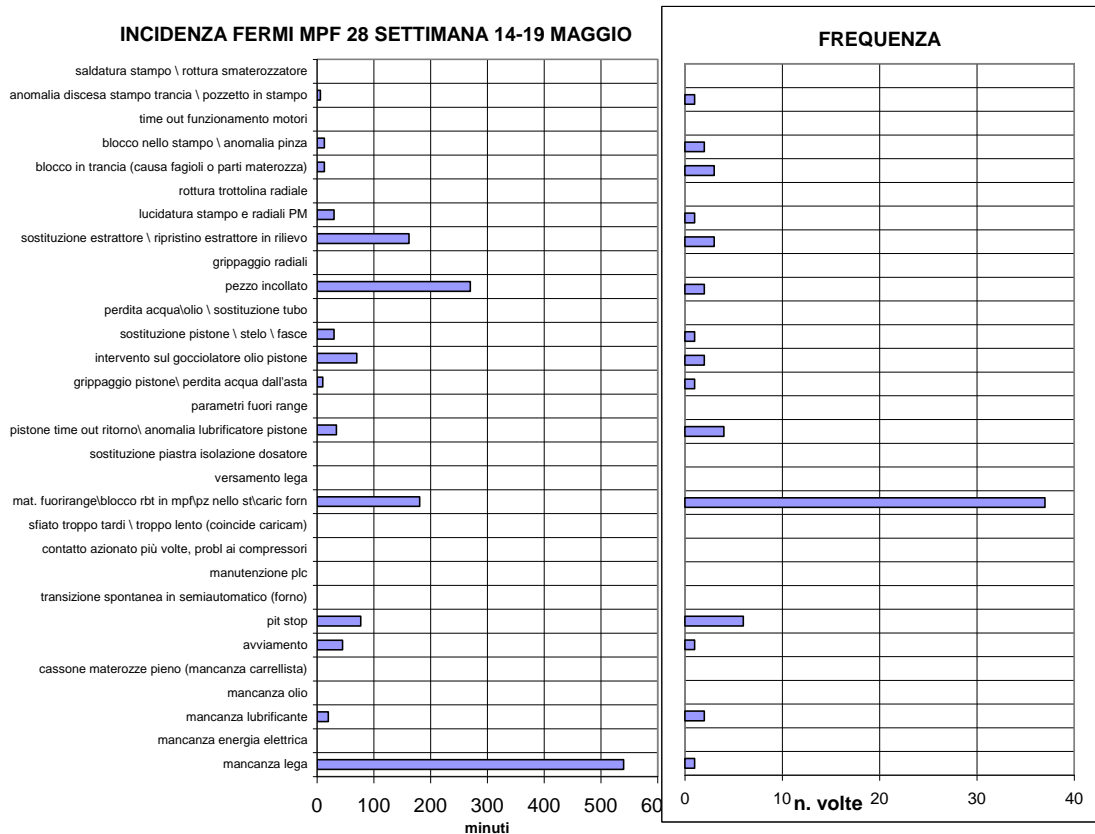


Fig. 5.7 Dettaglio delle cause di fermo

Una importante considerazione è quella che riguarda il rapporto tra frequenza di guasto e gravità. In effetti i diagrammi mostrano come il balance incida poco sulle cause di fermo, questo a dispetto dell'alta frequenza di manifestazione di quei fenomeni.

Il motivo è che l'operatore, essendo in grado di gestire il balance autonomamente, riesce a perdere non più del tempo di una stampata: questa perdita, seppur cumulata nel tempo su un numero elevato di registrazioni, non è paragonabile ai fermi per manutenzione a guasto, soprattutto se si tiene conto della non tempestività degli interventi, come esposto nel seguito.



### 5.3.1 RISOLUZIONE STANDARD DEI FERMI

Un dato che non emerge da quelli raccolti è quanto tempo servirebbe per risolvere in maniera standard un fermo. Questo problema è legato ad alcuni aspetti:

- L'operatore indica l'intervallo di fermo, non l'intervallo di ripristino della funzionalità della macchina, pertanto non si conoscono i tempi di attesa che la manutenzione abbia luogo e se esistono dei tempi morti dopo tale ripristino;
- Fermi impianti riportati sotto la stessa voce possono avere in realtà peculiarità e gravità molto diverse.

Per questi motivi l'unica cosa che si potrebbe fare, ma che in questa sede non si è fatta, è valutare media e varianza per ogni tempo di ripristino di un fermo, ottenendo un dato macroscopicamente significativo.

Una varianza molto alta infatti, fermo restando che una stessa voce di fermo può comportare tempi di ripristino differenti, sta ad indicare con grande probabilità una gestione inefficiente del fermo.

Per avere dati più precisi sul tempo di manutenzione sono stati anche consultati i registri delle squadre di manutenzione, notando tuttavia che essi non sono sempre ben compilati e che molte informazioni necessarie risultano mancanti.

### 5.4 ANALISI DI PERFORMANCE: L'OEE

Sebbene la produttività teorica della MPF sia deducibile dal tempo ciclo medio, l'azienda tende a fissare degli indici sulla base del proprio target (produttività a rubrica), di norma più basso di quello tecnicamente possibile.

È il caso ad esempio della MPF 28, in grado di produrre un pezzo ogni 82 secondi circa (43 stampate/ora in assenza di fermi). Per l'azienda il target è invece 35÷40 stampate ora.

Il target aziendale è un dato concordato con il cliente ed esprime una garanzia per quest'ultimo di affidabilità del fornitore: di norma il valore minimo di produttività è il 60% di quello ottenibile a partire da quello concordato.

Il parametro conclusivo di analisi della produttività è stato l'Overall Equipment Effectiveness, il cui acronimo è OEE (efficienza globale dell'attrezzatura).

L'OEE fornisce una valutazione dei livelli prestazionali delle singole aree (produzione, manutenzione, qualità...) presenti all'interno di un'azienda o dell'azienda nel suo complesso.

L'OEE è:

- un indice di tipo globale usato per stabilire il livello prestazionale di un'isola produttiva;
- un parametro utilizzato per eseguire una classificazione ed una quantificazione delle principali cause di perdita di efficienza;
- una misura del valore aggiunto apportato da una macchina o da un impianto alla produzione.

L'OEE è dato dal prodotto di 3 fattori, che sono:

$$\text{OEE} = \text{DISPONIBILITÀ} * \text{EFFICIENZA PRODUTTIVA} * \text{QUALITÀ}$$
$$A * E * Q$$

Dove:

- A è la disponibilità data dal rapporto tra il tempo in cui l'impianto può essere utilizzato (durata della produzione pianificata meno durata del downtime non previsto) ed il tempo totale (che comprende oltre al tempo di utilizzo anche il tempo di riparazione);
- E è il livello di prestazioni (efficienza produttiva) dato dal rapporto tra la produzione reale e quella teorica sulla base del tempo ciclo teorico in assenza di fermi;
- Q è la qualità della produzione data dal rapporto tra la produzione buona e quella totale (quella buona è data dalla differenza tra la produzione totale e quella scartata).

Come si vede dalle definizioni, questo indice è generale e calcolabile per ogni tipologia di industria (sia quella di processo sia quella manifatturiera). Ogni fattore è esprimibile come percentuale e pertanto anche l'OEE varierà in generale tra 0 e 100%.

Nell'analisi ALMEC S.p.A. sono state individuate, come detto, 4 cause di decremento:

- balance;
- manutenzione;
- qualità;
- organizzazione.

A partire dalla determinazione dell'OEE e conoscendo le cause di perdita, si potrà anche determinare quel fattore o quei fattori che penalizzano l'indice complessivo, intervenendo in modo mirato per conseguire il miglioramento.

Ciascuna delle cause indicate incide su uno dei 3 fattori.

Valori dell'OEE inferiori al 70÷75% indicano la presenza di criticità, che devono essere corrette in modo tempestivo, soprattutto nel caso ci sia un trend negativo.

L'OEE delle MPF presenti in Fonderia C è risultato mediamente pari ad un valore intorno al 70% nel periodo monitorato, con punte in determinate finestre temporali anche prossime al 90% per alcune macchine.

Questo valore è calcolato sotto l'ipotesi che i periodi di mancanza programma possano essere esclusi dal calcolo al pari dei fermi per indisponibilità degli impianti; questa ipotesi è suffragata dal fatto che questo calcolo mirava essenzialmente a relazionare la produttività ai guasti o più in generale ai fermi.

Nel diagramma seguente si può notare un esempio di analisi della produttività estratto da una delle settimane monitorate.

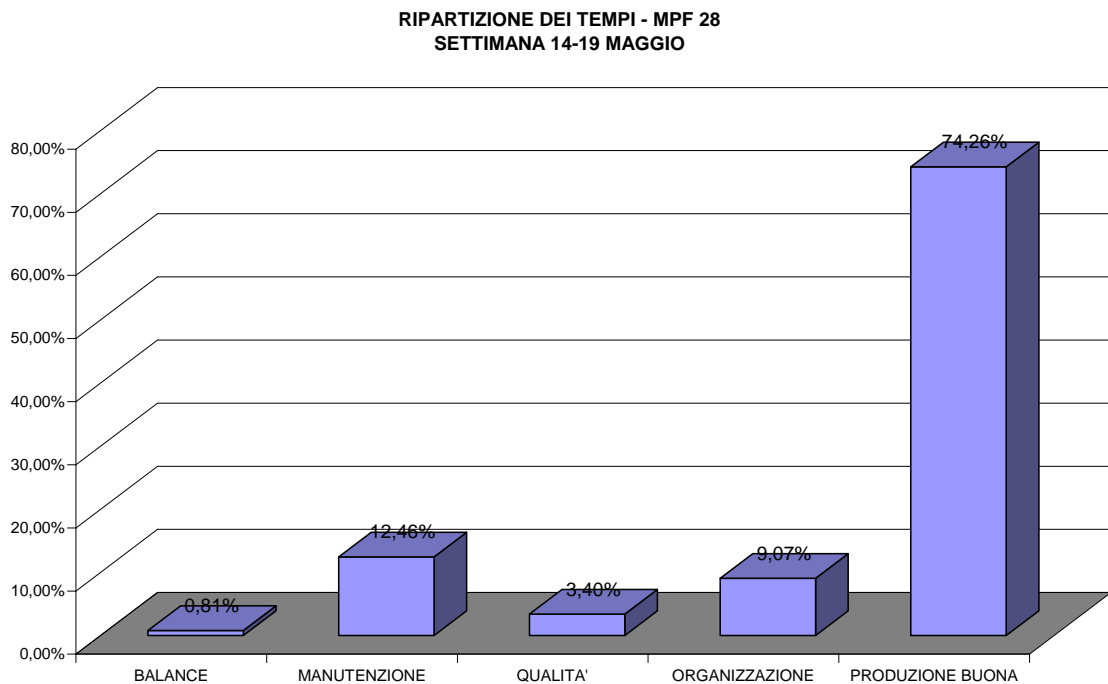


Fig. 5.8. Risultati sul monitoraggio dell'efficienza dell'isola

## 5.5 COMPOSIZIONE DELLE INEFFICIENZE

In definitiva, aggregando i dati per tutte le MPF della Fonderia C e realizzando delle medie per le settimane analizzate, i fermi macchina sono da attribuire alle seguenti cause:

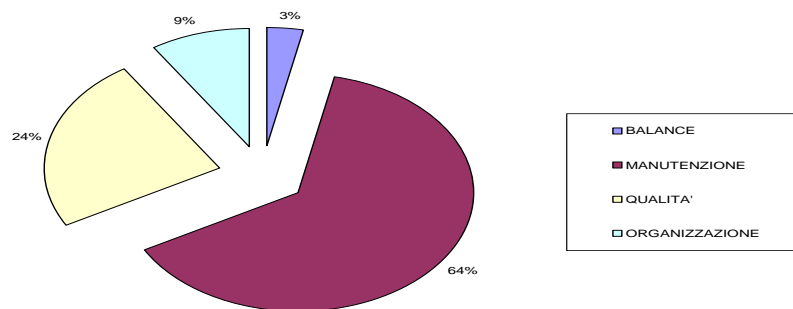


Fig.5.9 Composizione media delle cause di fermo

La voce manutenzione è quella a maggiore incidenza (64%), seguita dalla qualità (24%), organizzazione (9%) e balance (3%).

Colpisce il dato della manutenzione, sulla quale si sono già spese molte considerazioni, ma anche quello della qualità, relativo ad avviamenti e pit-stop. Si tenga presente infatti che il

dato è stimato per difetto, in quanto, nella elaborazione dei dati ora mostrati, i tempi di avviamento sono stati inseriti nella voce apposita solo in seguito a fermi di almeno 1 ora<sup>14</sup>.

La voce organizzazione si è rivelata una mina vagante, nel senso che può determinare dei grossi scompensi nella produzione. All'interno di questo gruppo la parte principale è stata svolta dalla mancanza lega: un dato che colpisce però è che talvolta tale mancanza non è determinata dall'assenza di lingotti o siviere liquide, ma dal fatto che l'addetto al riempimento dei forni di mantenimento ritarda il trasferimento della lega.

Infine il balance, del quale inizialmente si temeva l'incidenza, ha mostrato essere una voce di ridotto peso: l'importanza del monitoraggio di questa voce tuttavia persiste, ed è rappresentata dal fatto di aver quantificato una voce fino a poco tempo addietro mai approfondita.

---

<sup>14</sup> Approssimando che dopo 1 ora la temperatura dello stampo sia scesa così tanto da rendere il riavvio pari a quello di un lunedì mattina

## 6. GRUPPO INIEZIONE

### 6.1 INTRODUZIONE

In pressofusione il materiale liquido non viene versato nello stampo ma è necessario imprimere una forza che inietti la lega nella forma in pochissimi secondi: questa funzione è eseguita dal gruppo di iniezione costituito principalmente dal contenitore, dal pistone d'iniezione e dallo stelo: il suo perfetto funzionamento, l'accoppiamento pistone-contenitore sono importanti per ottenere getti di qualità all'interno del processo produttivo della pressofusione.

### 6.2 CONTENITORE

Il contenitore deve poter raccogliere la lega liquida necessaria per realizzare il getto e deve poter sopportare lo scorrimento al suo interno del pistone di iniezione; è quindi sottoposto continuamente a sbalzi di temperatura, ad usura meccanica ed a processi di metallizzazione dell'Al sulla sua superficie.



Fig. 6.1. Parco contenitori ALMEC S.p.A.

#### 6.2.1 SCELTA DEL MATERIALE

DIN	UNI	AISI	Wnr.	AFNOR	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Altri
X38CrMoV51	X37CrMoV51KU	H11	23 43	Z38CDV5	0,37	1,00	0,40	5,00	1,30	0,40	-
X40CrMoV51	X40CrMoV511KU	H13	23 44	Z40CDV6	0,40	1,00	0,40	5,20	1,40	1,00	-
X32CrMoV33	30CrMoV1227KU	H10	23 65	30DCV28	0,30	0,30	0,30	3,00	2,80	0,60	-

Fig.6.2 Denominazione e composizione chimica

Questi acciai speciali mediante processi dalla fusione al trattamento termico offrono notevoli miglioramenti dell'isotropia dovuti a:

- migliore concentrazione degli elementi leganti;
- miglioramento del grado di purezza solfidrica;
- miglioramento dei valori tecnologici del processo fusorio;
- struttura di ricottura uniforme.

Esiste inoltre la possibilità di costruire contenitori con i nuovi acciai speciali a basso contenuto di Si con maggiori proprietà meccaniche e particolare aumento della resilienza, maggiore resistenza alla fatica termica e con la possibilità di essere temprati fino a 54÷58 HRC.

L'uso dell'acciaio W1.2365 (AISI H10) è consigliabile solo per contenitori di piccole dimensioni (diametro massimo del foro 90 mm) ed in fonderie dove è prassi effettuare un preriscaldamento al contenitore; infatti questo acciaio garantisce ottima resistenza all'usura e al rinvenimento ma non resiste agli shock termici.

## 6.2.2 CICLO DI LAVORAZIONE

Il ciclo di lavorazione e di produzione del contenitore è costituito da diverse fasi, impiega differenti macchine utensili e necessita di trattamenti termici. Nel dettaglio le lavorazioni per l'ottenimento della camera di pressione in acciaio sono:

1. foratura della barra di acciaio;
2. primo trattamento termico di ricottura;
3. prima lavorazione meccanica di tornitura e di fresatura lasciando un sovrametallo;
4. trattamento termico di bonifica costituito da tempra e rinvenimento per ottenere una durezza di 46÷49 HRC;
5. lavorazione meccanica di finitura con rettifica del diametro esterno e del foro interno;
6. trattamento termico finale di nitrurazione con una bassa profondità (0,10-0,15 mm) ma con elevata durezza che raggiungere resistenza ai continui shock termici;
7. per contenitori particolarmente sollecitati dopo il trattamento finale si può eseguire una lucidatura del foro.

La finitura meccanica dell'esterno e dei fori con rettifiche universali a controllo numerico e la lappatura del foro con levigatrici verticali devono garantire al contenitore tolleranze centesimali:

- rugosità Ra 0,1÷0,2;
- foro con tolleranza H6;
- rotondità del foro 0,02 mm max;
- ortogonalità 0,02 mm max;
- coassialità 0,02 mm max;
- parallelismo 0,02 mm max.

Le tolleranze del contenitore devono evitare la formazione di tensioni e deformazioni che ostacolano o rallentano la corsa del pistone, permettere la dilatazione all'interno dello stampo e del piano fisso della macchina da pressofusione.

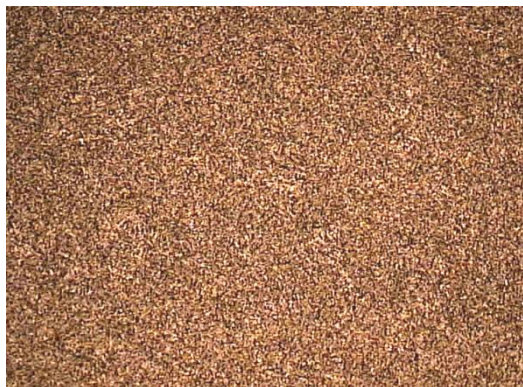
In conclusione le lavorazioni meccaniche devono essere di elevata precisione per via della stretta tolleranza tra i diametri del foro e quello del pistone: bisogna garantire lo scorrimento, la coassialità ed il parallelismo per tutta la lunghezza.

## 6.2.3 TRATTAMENTI TERMICI

Intervallati alle lavorazioni meccaniche vengono effettuati diversi trattamenti termici: ricottura, bonifica, rinvenimento e nitrurazione:

- ricottura del materiale a seguito della realizzazione del foro interno; il trattamento è eseguito a 780°C: un'ora per ogni mm di spessore con raffreddamento in forno.
- bonifica del pezzo per ottenere 45 HRC con i seguenti cicli termici:
  - preriscaldamento a 650°C;
  - riscaldamento a 830°C per 2 ore;
  - austenizzazione sottovuoto per 2 ore;
  - tempra con raffreddamento in 2 bagni rispettivamente a 500°C e a 200°C; i tempi di permanenza nei bagni sono legati alle dimensioni dei pezzi.
- rinvenimento dove il numero dei cicli è in funzione della durezza desiderata:
  - 1° rinvenimento a 560÷620°C;
  - 2° rinvenimento a 560÷620°C;
  - 3° rinvenimento a 560÷600°C.

Nelle Fig. 6.3 vengono visualizzate alcune strutture a cuore di un acciaio di lavorazione a caldo AISI H13 dopo tempra e rinvenimento con martensite rinvenuta con carburi globulari.



*Fig.6.3.a Dimensionamento del grano ingrandimento 100x*



*Fig.6.3.b Dimensionamento del grano ingrandimento 500x*

La nitrurazione è un trattamento termo-chimico superficiale e varia a seconda delle condizioni d'esercizio finale del contenitore:

- nitrurazione gassosa con ciclo di 30 ore e penetrazione di  $0,15 \div 0,20$  mm; questo rivestimento è quello normalmente proposto, lo spessore dei nitruri risulta essere esiguo e di struttura non omogenea quando non viene effettuato in forni sotto vuoto.
- nitrurazione ionica profonda per uno strato superficiale di durezza pari a  $1050 \div 1400$  HV e spessore variabile da  $0,3 \div 0,5$  mm; si forma una coltre bianca di tipo monofasico, compatta, tenace, con elevate proprietà di antigrippaggio e di resistenza all'usura da strisciamento delle particelle silicee in sospensione nella lega di Al. Si esegue in forni verticali per controllare meglio le deformazioni.

Nella Fig. 6.4 viene analizzata la profondità efficace dello strato nitrurato dopo nitrurazione ionica con profondità 0,4 mm di spessore e con durezza di picco della sezione in  $HV_{0,3}$  1100.

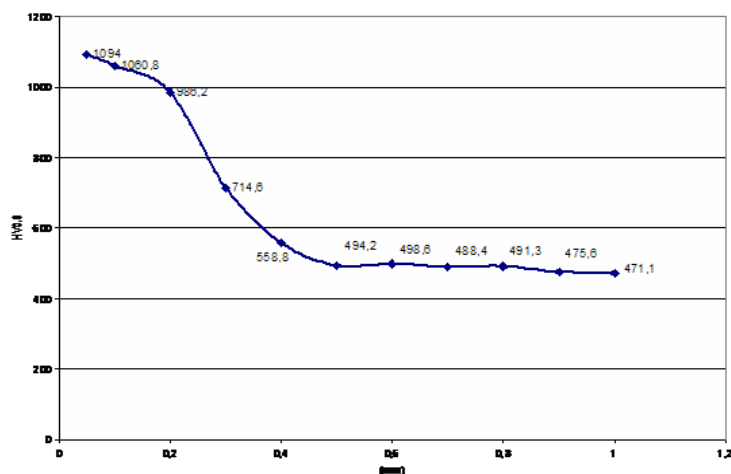


Fig. 6.4 Grafico della durezza dello strato di nitrurato

I trattamenti termici finalizzati all'ottenimento delle durezze stabilite, devono essere eseguiti a carico del fornitore esterno alla fonderia (presso la propria officina o altri sub-fornitori), purché abbiano le caratteristiche adatte allo scopo, devono effettuarsi in atmosfera controllata o sottovuoto e in conformità alle norme prescritte dalle ditte fornitrici dell'acciaio. Per quel che concerne i valori delle durezze da realizzare dovranno essere fissati in funzione delle criticità delle parti figura e riportati sui disegni finali. Su tutti i particolari principali facenti figura, nel lato opposto, verrà fatto un bassopiano con punzonati i dati salienti quali posizione nella distinta base, numero di commessa del fornitore, durezza richiesta, tipo e marca di materiale.

Per la verifica dei criteri di qualità il certificato di conformità deve essere allegato alla documentazione del contenitore e deve riportare:

- dati di preriscaldamento con indicazione delle temperature;
- temperatura della tempra e tempi di mantenimento;
- numero dei rinvenimenti (min. 3 per gli acciai utilizzati) praticati con menzione delle temperature e dei tempi;



- valore dell'ultima temperatura di rinvenimento;
- durezza dopo il trattamento termico;
- dimensioni del grano austenitico;
- esame microstrutturale al microscopio ottico 500 ingrandimenti prima e dopo trattamento, da effettuarsi secondo le UNI 4001.
- durezza HV<sub>0,3</sub> dopo il trattamento superficiale di nitrurazione ionica;
- rugosità superficiale del foro del contenitore.

#### 6.2.4 CONTENITORE TRADIZIONALE

Il contenitore tradizionale è costituito da 2 parti distinte che devono accoppiarsi con precisione per via dello scorrimento del pistone all'interno del foro: la prima è il contenitore che viene fissato nel piano fisso della macchina e la seconda è la bussola fissata nel piano fisso dello stampo.

Deve essere garantito che tra il contenitore e la sua bussola ci sia una perfetta concentricità del foro, un centraggio dei diametri e un allineamento assiale.

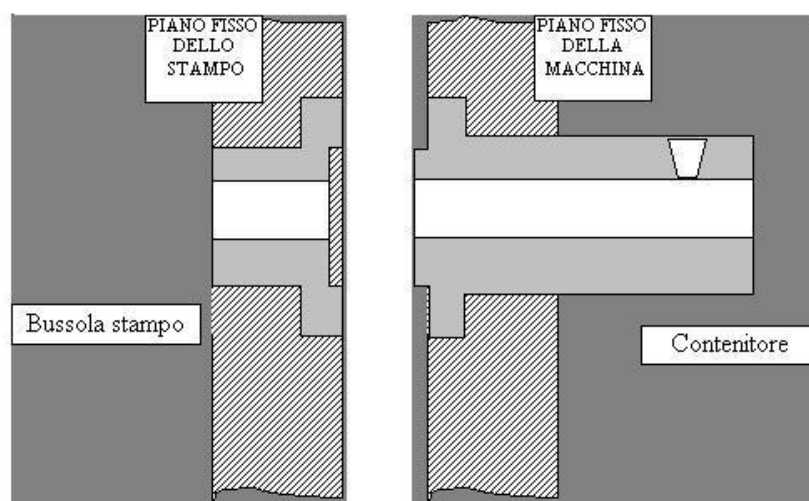


Fig. 6.5 Schema bussola e contenitore

Per la costruzione di bussole e delle contro colate (parte di stampo) vengono utilizzati i principali acciai da lavorazione a caldo:

DIN	UNI	AISI	Wnr.	AFNOR	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
X38CrMoV51	X37CrMoV51KU	H11	23 43	Z38CDV5	0,37	1,00	0,40	5,00	1,30	0,40
X40CrMoV51	X40CrMoV511KU	H13	23 44	Z40CDV6	0,40	1,00	0,40	5,20	1,40	1,00
X32CrMoV33	30CrMoV1227KU	H10	23 65	30DCV28	0,30	0,30	0,30	3,00	2,80	0,60

Fig. 6.6. Denominazione e composizione chimica

Ogni bussola viene realizzata, partendo da barre forgiate e ricotte, su disegno del cliente secondo le seguenti procedure:

- lavorazione meccanica su torni a controllo numerico;

- fresatura e costruzione di circuito di termoregolazione dove richiesto;
- tempra e bonifica per ottenere una durezza compresa tra 44-48 HRC;
- rettifica su macchine automatizzate;
- rivestimento superficiale con formazione di superfici ad elevate proprietà antigrippanti e antimetallizzazione.



*Fig. 6.7. Bussole di varie dimensioni*

Dopo avere eseguito tutte le lavorazione meccaniche presso l'officina le bussole subiscono i trattamenti termochimici superficiali a seconda delle condizione d'esercizio:

- nitrurazione gassosa con ciclo di 10 ore e penetrazione di  $0,10 \div 0,25$  mm oppure ciclo di 30 ore con penetrazione di  $0,15 \div 0,20$  mm;
- nitrurazione ionica per ottenere uno strato superficiale di durezza pari a 1050 HV e spessore variabile da  $0,2 \div 0,5$  mm. Si ha una coltre bianca di tipo monofasico, compatta, tenace, con elevate proprietà di antigrippaggio e di resistenza all'usura da strisciamento delle particelle silicee in sospensione nella lega di Al. Si esegue in forni verticali per controllare meglio le deformazioni.

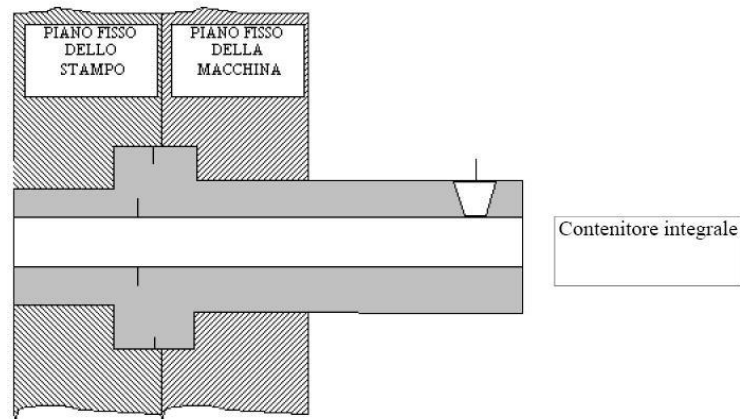
Può essere richiesto il certificato dell'acciaio, dei trattamenti termo-chimici e quello dimensionale.

Si può quindi evincere che il ciclo produttivo della bussola è molto simile a quello del contenitore e quindi sono richieste elevate durezze ed elevate tolleranza meccaniche visto che nel tratto finale della bussola avvengono importanti processi per ottenere getti di qualità.

Il costo di una bussola non è molto oneroso e quindi si consiglia la sua sostituzione nel caso di usura per evitare i fermi macchina, il maggior numero di scarti e la maggior usura dei pistoni.

## 6.2.5 CONTENITORE INTEGRALE

Il contenitore integrale è costituito da un'unica parte; viene fissato da un'estremità nel piano fisso della macchina e dall'altra nel piano fisso dello stampo.



*Fig. 6.8 Schema contenitore integrale*

Questa tipologia di contenitori sono soggetti a forti shock termici causati dai continui sbalzi termici che avvengono ad ogni ciclo di iniezione; la zona di versamento, in prossimità della bocca di carico, è quella più soggetta alla formazione di cricche e alla rottura per invecchiamento.



*Fig. 6.9 Contenitori integrali*

Per prolungare la vita tecnica del contenitore integrale non termoregolato è bene eseguire un ciclo di pre-riscaldamento, ridurre al minimo la temperatura del metallo liquido senza compromettere il processo, non far solidificare o calmare all'interno del contenitore la lega liquida, nel caso di caricatore con tazza ridurre al minimo l'altezza di caduta, mantenere lubrificato il pistone, verificare la tolleranza all'interno del foro ed eventualmente sostituire il pistone prima che possa danneggiare il foro.

## 6.2.6 CONTENITORE TERMOREGOLATO

Nella moderna pressofusione vi è la tendenza a pressocolare getti di dimensioni sempre maggiori, con una geometria più complicata e con una qualità elevata ma con minor costi; per questo si realizzano macchine sempre più precise ed assistite dall'elettronica che controlla il processo durante ogni fase dell'iniezione.

In fase di progettazione di un contenitore di elevate dimensioni occorre prevedere la termoregolazione mediante opportuni canali per il passaggio di olio diatermico.

L'acciaio, rimanendo in contatto con l'Al fuso a circa  $650\div 700^{\circ}\text{C}$  per tempi sempre maggiori, rinviene e perde le sue caratteristiche meccaniche; da parte delle acciaierie c'è una notevole attenzione nel cercare di produrre materiali con speciali tecniche di raffinazione in modo da ottenere prodotti con basse impurità, una migliore distribuzione degli elementi leganti, un miglioramento del grado di purezza solfidrica, un miglioramento dei valori tecnologici in tutte le direzioni ed una struttura di ricottura eccezionalmente uniforme.

Risulta di primaria importanza eseguire il trattamento di bonifica in impianti sottovuoto con raffreddamento in bagni termali a  $500^{\circ}\text{C}$  e  $200^{\circ}\text{C}$  ed almeno 3 rinvenimenti compresi tra  $560\div 620^{\circ}\text{C}$  per ottenere prodotti con durezza uniformi e con un grano estremamente fine.

Il miglior trattamento superficiale per i contenitori è la nitrurazione ionica, da eseguire in un impianto con forni verticali al fine di ottenere:

- contenimento delle deformazioni;
- resistenza ai carichi torsionali;
- limitazione della coltre bianca con la formazione di quella di tipo monofasico ( $\gamma$  oppure  $\epsilon$ ) meno tensionata, con elevate proprietà antiusura e antigrippaggio;
- formazione della coltre bianca più compatta e tenace che quella bifasica tipica della nitrurazione tradizionale;
- eliminazione o confinamento verso l'interno dei grossi carbonitridi interlamellari fragilizzanti;
- formazione di uno strato di durezza pari a 1050 HV con spessore variabile da  $0.20\div 0.35$  mm. e con massima resistenza all'usura da strisciamento delle particelle di silice in sospensione nella lega di Al.

Nonostante le precauzioni adottate un contenitore si deteriora principalmente per fatica termica ed usura meccanica.

Ogni qualvolta viene versato il materiale fuso, il contenitore subisce uno shock termico che influisce sul suo rendimento: questa continua e rapida variazione di temperatura porta, a lungo andare, ad una perdita della durezza dell'acciaio ed ad una fessurazione del rivestimento superficiale con inevitabile corrosione e metallizzazione da parte del Al fuso.

Inoltre durante l'iniezione c'è la continua abrasione da parte del pistone, delle fasce, delle inevitabili particelle di silice libere e dell'Al liquido.

Secondo alcuni studi un contenitore che è surriscaldato nella zona inferiore subisce deformazioni ed ovalizzazioni del foro fino a 0,3 mm: un pistone d'iniezione che scorre a velocità e pressioni elevate in un foro ovale certamente non potrà mai pressocolare con le medesime caratteristiche e quindi preclude la qualità dei getti.

La zona dove cade il materiale è sottoposta oltre alla fatica meccanica di erosione, dovuta alla velocità di caduta della lega, anche ad uno stress termico dovuto al continuo riscaldamento di questa

zona, che tende ad avvicinarsi sempre più alla temperatura di ricottura dell'acciaio con la conseguente perdita delle caratteristiche meccaniche e metallurgiche.

Utilizzare un contenitore a termoregolazione integrale porta come vantaggi: una minor usura dei pistoni d'iniezione, una maggior durata del contenitore d'iniezione, una costanza nella realizzazione dei getti, una migliore applicazione della potenza d'iniezione, una riduzione dei costi d'esercizio a scapito del maggior costo di acquisto.

La termoregolazione avviene preferibilmente tramite dei passaggi d'olio diatermico collegati in un circuito, la temperatura è controllata tramite l'uso di una centralina che mantiene il fluido regolato a circa  $80\pm 200^{\circ}\text{C}$ ; prima delle prime iniezioni è possibile e consigliato preriscaldare e portare il contenitore alla temperatura ottimale per ridurre la possibilità di shock termici.

Il circuito può essere costruito solo nella parte inferiore del contenitore (zona di caduta materiale), con due o quattro fori: in questo caso si parla di contenitore integrale con termoregolazione non su tutto il contorno; mentre se il circuito è su tutta la circonferenza e su tutta la lunghezza si parla di contenitore integrale termoregolarizzato.

Questa tecnologia mantiene il foro d'iniezione perfettamente cilindrico, controlla la temperatura d'esercizio dell'acciaio e mantiene una costanza d'iniezione nella velocità e nella pressione specifica.

Tutti i contenitori termoregolarizzati hanno:

- i diametri di appoggio a settori per renderlo autonomo da ogni influenza esterna (spalla fissa della macchina e parte fissa dello stampo) e per facilitarne l'assiemeaggio;
- un'entrata ed un'uscita per il passaggio dell'olio nel circuito finalizzati secondo l'esigenza;
- sedi di attacco delle termocoppie per la lettura istantanea della temperatura in qualsiasi fase di lavoro.

Il contenitore a termoregolazione integrale con acciaio di qualità, con trattamenti di bonifica in bagno di sale e trattamento superficiale di nitrurazione è ad oggi la migliore tecnologia sul mercato.

Senza stravolgere il disegno del pezzo meccanico esistono sul mercato diversi tipi di termoregolazione:

1. costruzione di un circuito di termoregolazione con 4 fori in zona caduta materiale; con questo sistema però non si riescono a controllare tutte le deformazioni, la zona materozza rimane ad una temperatura elevata ed esistono probabilità di criccate per shock termico;

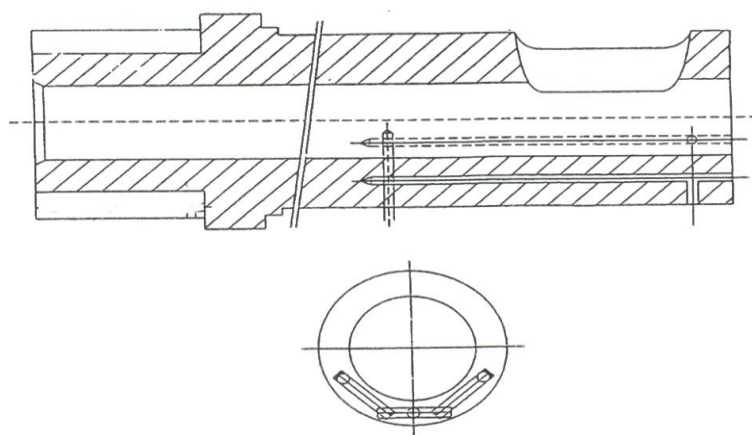


Fig. 6.10 Disegno del circuito raffreddamento con acqua in zona caduta materiale

2. costruzione di un circuito termoregolizzato di 4÷6 fori nella zona inferiore del contenitore collegato ad una camicia in zona materozza. Questo sistema serve per eliminare il calore in eccesso sia in zona caduta materiale che nella zona a contatto con lo stampo; il foro risulta essere sempre ovale e non perfettamente cilindrico (effetto bending) in quanto c'è sempre una differenza di temperatura tra la parte inferiore e la parte superiore;

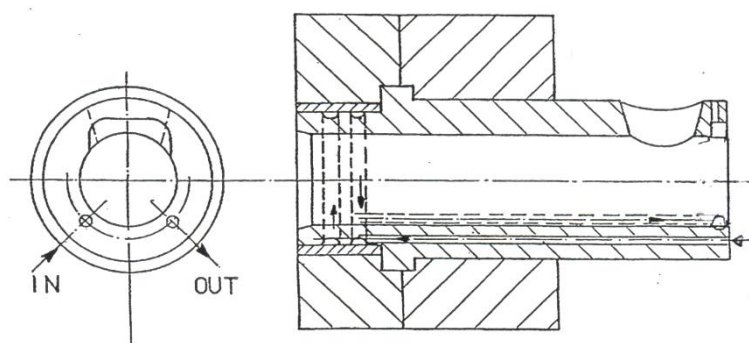


Fig. 6.11 Disegno del circuito termoregolazione con olio in zona caduta materiale e zona materozza

3. costruzione di un circuito termoregolizzato di 12 fori sull'anello della circonferenza del contenitore. Questo sistema serve per eliminare il calore in eccesso sia in zona caduta materiale che nella zona a contatto con lo stampo; il foro non risulta ovale ed rimane cilindrico senza avere più l'effetto bending in quanto la differenza di temperatura tra la sua parte inferiore e quella superiore è minima. Questa tecnologia può essere applicata a qualsiasi contenitore; lo spessore minimo della parete esterna al foro deve essere di 32÷35 mm.

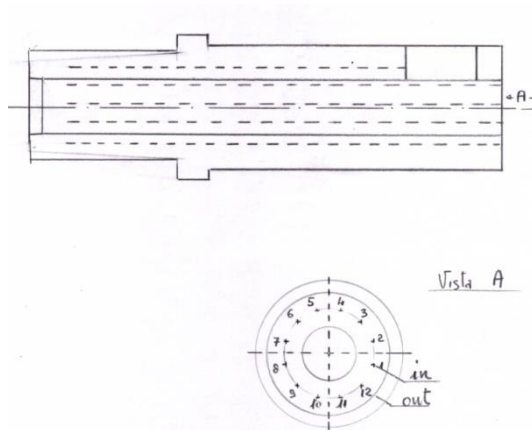


Fig. 6.12 Disegno del circuito termoregolazione su tutto il contenitore

Come si vede nelle Fig. 6.13 e 6.14 le temperature in un contenitore termoregolato risultano essere minori nella parte inferiore, maggiori nella superiore.

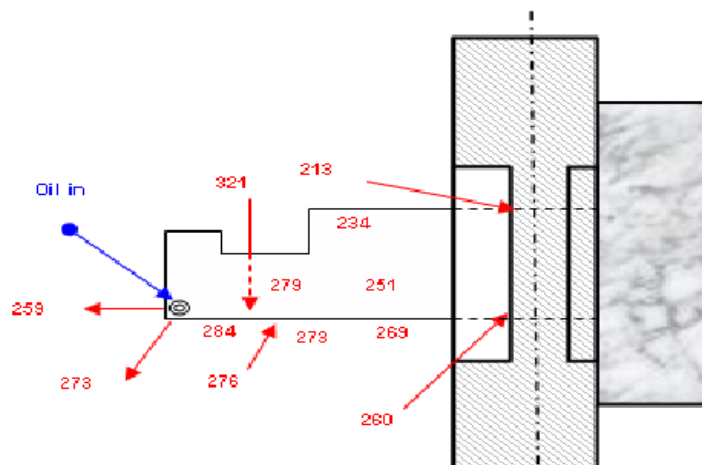


Fig. 6.13 Contenitore termoregolato

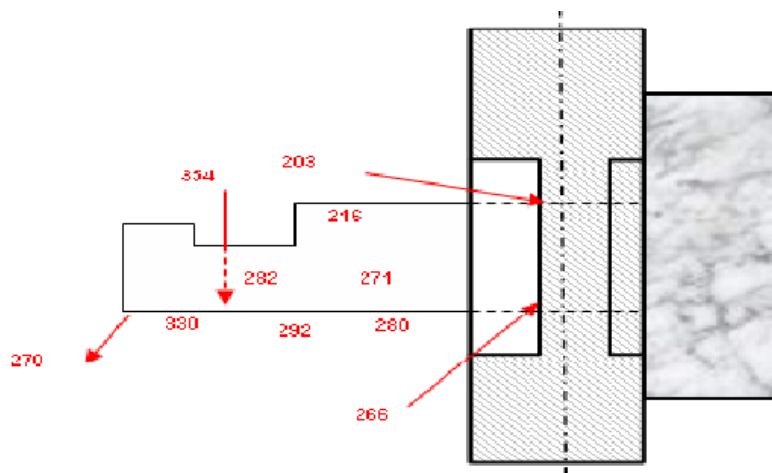


Fig. 6.14 Contenitore non termoregolato

Per riassumere nel seguente grafico viene messo in risalto il vantaggio di durata in numero di iniezioni tra un contenitore normale ed uno con termoregolazione.

### Contenitori Pressofusione

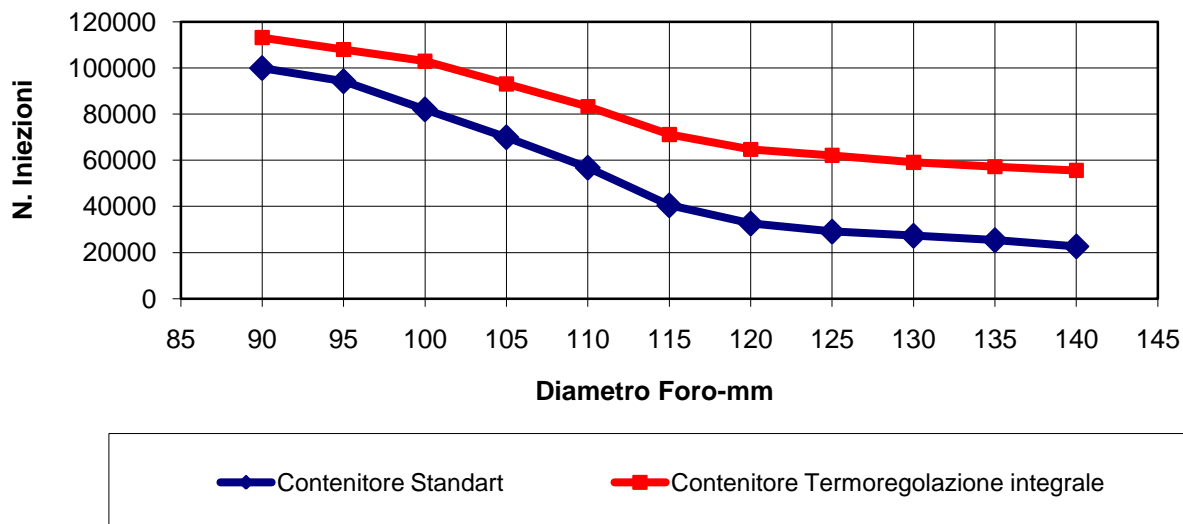


Fig. 6.15 Confronto tra contenitore integrale standard e termoregolato

Il vantaggio maggiore si ottiene per contenitori con diametri grandi; bisogna però evidenziare che il numero delle iniezioni non è assoluto, ma può variare per i seguenti parametri che modificano le condizioni operative del contenitore:

1. quantità lega versata;
2. qualità della lega di Al;
3. tipo di versamento impiegato;
4. ciclo macchina;
5. tonnellaggio macchina;
6. tipo di lubrificante;
7. tipo di pistone;
8. numero iniezioni per lotto di lavoro;
9. tempo per preriscaldamento contenitore.

### 6.2.7 ANALISI DELLE DILATAZIONI E DELLE DEFORMAZIONI

Di norma in fonderia non viene molto considerato il fenomeno della distorsione che il contenitore subisce a causa dell'usura meccanica tra diametro del pistone e foro, dello shock termico continuo causato dalla temperatura della lega liquida, dal rapporto di riempimento e dal rapporto fra la lunghezza e lo spessore dell'acciaio. Quindi è evidente che la vita tecnica del contenitore dipende principalmente da:

- attriti;
- tensioni meccaniche e termiche;
- erosioni meccaniche;
- reazioni chimiche sulla superficie dell'acciaio;
- tipo di lubrificante.



Tuttavia i fattori che influiscono principalmente sull'usura del contenitore sono l'effetto della temperatura (modifica strutturale dell'acciaio dovuta agli shock termici) e l'usura (attrito tra il foro del contenitore ed il pistone).

La massima usura si ha nel caso gli assi del pistone e del contenitore non siano perfettamente allineati tra loro, nel caso di curvatura longitudinale e conseguente ovalizzazione del foro. In Fig. 6.16 vengono evidenziate le deformazioni sul diametro e sulla lunghezza che si creano per la non regolare distribuzione delle temperature sull'acciaio.

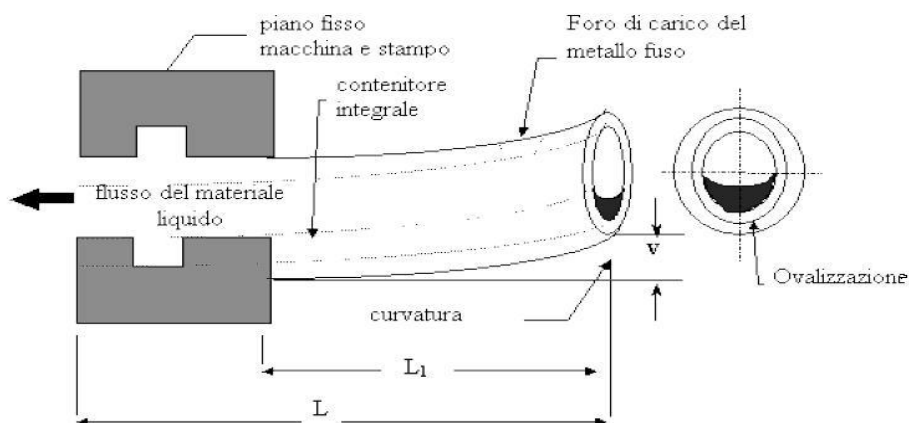


Fig. 6.16 Schema della deformazione di un contenitore integrale

$L$  rappresenta la lunghezza totale del contenitore integrale;

$L_1$  rappresenta la lunghezza dove avviene la deformazione longitudinale;

$v$  rappresenta il valore della curvatura che aumenta con l'aumentare della quantità di lega che viene versata e con l'aumentare del rapporto spessore/lunghezza.

La curvatura, chiamata anche effetto banana, è causata dall'espansione termica dell'acciaio nella parte inferiore del contenitore a contatto con la lega liquida e dalla costrizione nella porzione superiore; le principali conseguenze di questo effetto sono:

- trafilamento della metallo liquida dal pistone;
- perdita dell'allineamento di tutto il gruppo di iniezione;
- variazioni nei parametri di iniezione (velocità e pressione);
- eccessivo consumo dei pistoni o degli anelli;
- rischio di bloccaggio del pistone all'interno del contenitore durante la propria corsa;
- aumento dei pezzi di scarto.

La continua variazione della temperatura, causata dal versamento di lega liquida nel contenitore e la successiva fase di raffreddamento, crea cricche superficiali e tensioni interne. E' evidente il beneficio della termoregolazione che riduce la abrasione nella parte inferiore del contenitore Per evitare che questi fenomeni sopraggiungano all'inizio della vita di un contenitore è bene che:

- l'acciaio abbia un basso coefficiente di dilatazione termica lineare, che mantenga una resistenza all'alta temperatura e che sappia resistere almeno a shock termici contenuti;
- se il contenitore è termoregolato impostare una temperatura dell'olio diatermico prossima ai  $200^{\circ}\text{C}$  per ridurre al minimo il differenziale termico;

- versare la lega alla temperatura più bassa possibile evitare l'inizio della solidificazione (circa 650°C);
- realizzare contenitori con un forte spessore per ridurre il rapporto lunghezza/spessore e dunque la curvatura;
- riempire al massimo il 50% del volume della cavità del contenitore per limitare la potenza in fase di iniezione;
- lubrificare il pistone ad ogni iniezione;
- raffreddare la testa del pistone ad una temperatura di 40°C per essere certi delle tolleranze calcolate in fase di progettazione tra contenitore e pistone.

È stato calcolato che la massima deformazione accettabile tra la lunghezza della parte inferiore e della parte superiore è di circa 0,30 mm; oltre tale valore l'effetto banana è eccessivo, con tutti i rischi del caso.

## 6.2.8 VERIFICHE DEI CRITERI DI QUALITÀ

Per effettuare una corretta verifica del prodotto è bene richiedere al proprio fornitore i certificati di conformità dell'acciaio e dei trattamenti termici.

Questi certificati dovranno contenere i seguenti elementi:

- certificato d'identificazione della colata da cui sono stati ricavati i blocchi richiesti;
- composizione chimica dell'acciaio con aggiunta della certificazione del contenuto di S e P (minore rispettivamente di 0.003 e 0.009);
- dimensione del grano austenitico secondo le norme EURONORM 9679, ISO 4857 o ASTM A681;
- classificazione delle inclusioni secondo norma ASTM E45 metodo A;
- esistenza o meno di bande di segregazioni secondo tabella NADCA;
- controllo della struttura di ricottura (deve essere conforme ad una delle foto della tavola delle strutture), del grado di sferoidizzazione e della distribuzione dei carburi secondo tabella NADCA;
- specificazione della durezza allo stato ricotto in accordo con le norme EURONORM 9679, ISO 4857 o ASTM A681;
- prova di resilienza Charpy-V come per ASTM A-370;
- omogeneità della struttura verificata all'ingrandimento 100x;
- certificato di controllo ad ultrasuoni che accerti l'assenza di cricche secondo norma ASTM A388 – E114;
- analisi micrografica con commento a margine;
- specificazione della durezza in accordo con le norme EURONORM 9679, ISO 4857 o ASTM A681;
- dati di preriscaldamento con indicazione delle temperature;
- temperatura della tempra e tempi di mantenimento;
- numero dei rinvenimenti praticati con menzione delle temperature e dei tempi.

Le prove meccaniche di resilienza e di misura della durezza devono essere eseguite a spese del fornitore anche su un apposito provino che il fornitore stesso deve ricavare opportunamente dal materiale grezzo durante le fasi di sgrossatura. Per le dimensioni del provino, le relative prove e i valori di accettabilità valgono le norme ASTM A370.

## 6.3 PISTONE

La funzione del pistone è quella di iniettare nella cavità dello stampo il metallo liquido e comprimerlo con forte pressione.

Con il seguente paragrafo si definiscono le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche della lega di Cu impiegata per la costruzione dei pistoni di iniezione definendo le modalità di realizzazione, di dimensionamento e di fornitura; inoltre si definiscono le principali nozioni del pistone con le fasce.

### 6.3.1 SCELTA DEL MATERIALE

È stato studiato che il materiale ideale per realizzare un pistone da impiegare in pressofusione deve avere;

- un'elevata resistenza e durezza (durezza Brinell a 20°C max 260 HB);
- un'eccellente conducibilità termica ( min 0,50 cal/cm°C);
- un ridotto coefficiente d'attrito rispetto al materiale della camera su un ampio campo di temperature;
- un ridotto coefficiente di dilatazione termica e buona stabilità dimensionale a caldo ( $20\div 200^{\circ}\text{C} - 17 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ );
- un'elevata resistenza a caldo (costante fino a 100°C);
- una bassa bagnabilità da parte della lega fusa ma una buona bagnabilità dai lubrificanti;
- un costo accessibile.

Un pistone realizzato in una lega di Cu<sub>2</sub>CoBe ha una conduttività termica 10 volte superiore ad uno realizzato in acciaio: questa è la prima condizione a favore dell'uso del pistone in Cu.

Il pistone in acciaio più lavora velocemente più tende a scaldarsi, poiché il ciclo di produzione non prevede il tempo di raffreddamento; più si scalda più si dilata e, scorrendo in una camicia del medesimo acciaio che comunque sarà ad una temperatura diversa e sicuramente non avrà la medesima dilatazione, tende a grippare; per questo non realizza iniezione sempre alla medesima velocità e potenza.

Il pistone in lega in Cu<sub>2</sub>CoBe offre la garanzia di poter essere raffreddato velocemente, con un semplice circuito programmato: se non si superano mai i 100°C non si hanno deformazioni tali da modificare il diametro di scorrimento e quindi si realizzano sempre iniezioni con le medesime caratteristiche.

Inoltre essendo a temperatura molto minore di quella corrispondente ad un pistone d'acciaio, la materozza si solidifica più velocemente ed in determinati casi è possibile diminuire i tempi del ciclo di lavoro.

## COMPOSIZIONE CHIMICA

La composizione chimica dei pistoni forniti deve rispettare quanto riportato nella seguente tabella per la lega Cu<sub>2</sub>CoBe da indurimento per precipitazione.

designazione	Cu	Co	Be	Si	Mn	Fe	Ni	Al	Altri
DIN 17666 2.1285	Resto	2,0÷2,8	0,40÷0,70	-	-	Ni+Fe = Max 0.5%		-	0.5
ASTMB44I C17500	Resto	2,4÷2,7	0,40÷0,70	-	-	-	-	-	-
RBC 1	Resto	2,1÷2,4 Co+Ni	0,45÷0,70	Max 0,2	-			Max 0,2	

Fig. 6.17. Composizione chimica in percentuale Cu-2Co-Be

La fornitura deve risultare ad un controllo visivo esente da ossidi, da veli oleosi e da qualsiasi traccia di materiale estraneo; inoltre non deve presentare segni di corrosione, ammaccature, scheggiature e rarefazioni.

In commercio esistono leghe di Cu-Be con elevate caratteristiche meccaniche (vedi tabella sottostante) che sono normalmente usate nei casi critici dei getti d'Al ma hanno costi più elevati.

Composizione chimica %							
	Ni	Co	Be	Si	Mn	Al	Cu
Cu-Ni-Si	1,6-2,5	-	-	0,5-0,8	Max 0,8	-	resto
Cu-Be-Co 1	-	2,1-2,4	0,45-0,6	Max 0,2	-	Max 0,2	resto
Cu-Be-Co 2	-	0,2-0,5	1,8-2,0	-	-	-	resto
Caratteristiche meccaniche e fisiche del materiale forgiato							
	R	Rr (0,2)	A5	HB			
Cu-Ni-Si	Mim 620 N/mm <sup>2</sup>	Mim 460 N/mm <sup>2</sup>	Mim 12 %	170+ 200			
Cu-Be-Co 1	Mim 760 N/mm <sup>2</sup>	Mim 530 N/mm <sup>2</sup>	Min 8%	235 + 250			
Cu-Be-Co 2	Mim 1050 N/mm <sup>2</sup>	Mim 900 N/mm <sup>2</sup>	Min 4%	305+380			
Acc. AISI/SAE D2 nitrurato	Mim 2060 N/mm <sup>2</sup>	--	--				
	conduttività elettrica	densità	conduttività termica				
Cu-Ni	min 40 IACS %	8,70 kg/dm <sup>3</sup>	Mim 0,45 (cal/cm/cm <sup>2</sup> /s/°C)				
Cu-Be-Co 1	min 45 IACS %	8,80 kg/dm <sup>3</sup>	min 0,55 (cal/cm/cm <sup>2</sup> /s/°C)				
Cu-Be-Co 2	min 20 IACS %	8,25 kg/dm <sup>3</sup>	Mim 0,23 (cal/cm/cm <sup>2</sup> /s/°C)				
Acc. AISI/SAE D2 nitrurato	0,5 IACS%	--	min 0,04 (cal/cm/cm <sup>2</sup> /s/°C)				

Fig. 6.18 Leghe di Cu particolari

### CARATTERISTICHE FISICHE

Le caratteristiche fisiche dei pistoni forniti devono rispettare quanto riportato nella seguente tabella per la lega Cu<sub>2</sub>CoBe da indurimento per precipitazione.

Caratteristiche	valori
Densità	8,80÷8,83 g/cm <sup>3</sup>
Coefficiente dilatazione termica lineare 20÷2000°C	17,6.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Conduttività termica a 20÷200°C	200~226 W/mC
Conduttività elettrica	45÷60% JACS
Modulo di elasticità	138 GPa
Calore specifico a 20°C	418,6 J/KgK

*Fig. 6.19 Caratteristiche fisiche*

### CARATTERISTICHE MECCANICHE

Le caratteristiche meccaniche dei pistoni forniti devono rispettare quanto riportato nella seguente tabella per la lega Cu<sub>2</sub>CoBe da indurimento per precipitazione.

Caratteristiche	valori
Resistenza a frazione R <sub>m</sub>	680÷900 MPa
Resistenza allo snervamento R <sub>p0.2</sub>	550÷690 MPa
Allungamento A <sub>5</sub>	10÷25%
Durezza Brinell HB <sub>2.5/187.5</sub>	220÷250

*Fig. 6.20 Caratteristiche meccaniche dopo trattamento di solubilizzazione ed invecchiamento*

La prova per valutare la durezza Brinell viene eseguita a temperatura ambiente di 10÷35°C, con una sfera di acciaio di diametro 2,5 mm ed applicando un carico di 1839 kN. Le durezze sono misurate sulla zona di battuta pistone/asta d'iniezione, precisamente all'interno della corona circolare tra foro filettato ed esterno.

La superficie su cui viene effettuato il rilievo deve essere liscia e piana, esente da ossidi, da materiale estraneo e da lubrificanti.

L'apparecchiatura, il metodo di prova e di taratura adottati devono essere conformi a quanto previsto dalle Norme UNI EN 1003 1, 2 e 3.

### 6.3.2 CICLO DI LAVORAZIONE E MECCANICA DEI PISTONI IN LEGA DI RAME



*Fig. 6.21 Pistoni in rame-berilio-cobalto*

Nella pressofusione la selezione del materiale, il disegno e la geometria del pistone d'iniezione sono aspetti di grande importanza per realizzare getti di qualità con costi contenuti; uno dei problemi principali nella pressocolata è l'accoppiamento tra il pistone ed il contenitore che spesso influenza la buona riuscita dei getti.

Ogni pistone è realizzato su disegno secondo le seguenti procedure:

- uso di barre forgiate;
- tempra e bonifica per ottenere una durezza compresa tra 230÷250 HB;
- lavorazione meccanica su torni a controllo numerico;
- fresatura.

Le caratteristiche dimensionali dei pistoni devono corrispondere a quanto riportato nel disegno.

L'eventuale certificato di conformità e di qualità dei pistoni devono essere compilati secondo quanto descritto dalla norma UNI -EN 10204 92/AI settembre 1997; il certificato deve accompagnare la fornitura.

Nel documento deve essere riportato quanto segue:

- ragione sociale del costruttore;
- numero del lotto produttivo;
- tipo di lega;
- numero colata;
- trattamento termico subito;
- analisi chimica della colata del materiale utilizzato;
- durezza HB;
- rilievi dimensionali eseguiti su ogni pistone fornito;
- firma del responsabile qualità del fornitori.

Ogni pistone deve riportare sulla zona della chiave la sigla di identificazione del fornitore ed il numero del lotto di produzione e deve essere posto in un imballo tale da preservare i pezzi da umidità, sporcizia e danneggiamenti durante il trasporto.

Lo studio della geometria e le caratteristiche meccaniche sono prerogative importanti per la vita del pistone: la tolleranza tra pistone e contenitore deve essere in funzione del diametro.

Diametro cont. [mm]	Toll. testina pist.	Diam.contenitore [mm]	Toll. testina pist.
40	0.02÷0.04	90	0.06÷0.08
50	0.03÷0.05	100	0.08÷0.10
60	0.04÷0.06	110	0.08÷0.10
70	0.05÷0.07	120	0.08÷0.10
80	0.06÷0.08	> 120	0.10÷0.12

Fig. 6.22 Tabella sulle tolleranze

È necessario un perfetto allineamento sia tra il pistone ed il contenitore e sia tra lo stelo d'iniezione ed il cilindro d'iniezione della macchina da pressofusione. Il pistone quando scorre all'interno del contenitore con un angolo eccessivo ha un deterioramento non uniforme. Il contenitore deve avere essere perfettamente cilindrico, avere coassialità, parallelismo, rotondità massime di 0,02 mm e foro con tolleranza H7. Inoltre, come precedentemente spiegato, è meglio che i contenitori con foro di diametro oltre i 100 mm. abbiano la termoregolazione integrale su tutto il foro e su tutta la lunghezza: in questo modo il foro rimane cilindrico e non si ovalizza.

In ogni caso il valore più importante per la durata del pistone è la durezza che deve essere compresa tra 235÷250 HB. Un pistone che scorre nel contenitore ad elevate velocità e pressione nel suo movimento striscia sulla parte inferiore della circonferenza; se la lega di Cu non ha una durezza minima di 235 HB il pistone avrà un consumo precoce nella parte inferiore e tenderà ad abbassarsi e la lega d'Al si potrà infiltrare nella parte superiore del pistone, iniziando a creare problemi nella corsa lineare dell'iniezione. La lega di Cu-Be-Co è da preferire rispetto alla lega di Cu-Ni-Si per la conduttività termica, superiore di circa il 10%, (ne consegue maggior raffreddamento) e soprattutto per la durezza, che nel caso del  $\text{CuCo}_2\text{Be}$  è minimo di 235 HB mentre nel caso del  $\text{CuSiNi}_2$  è al massimo di 210 HB.

Per mantenere comunque omogenea l'usura del pistone è opportuno effettuare una rotazione di 180° ogni 5.000 iniezioni.

### 6.3.3 RAFFREDDAMENTO E LUBRIFICAZIONE

È molto importante che il pistone si mantenga non oltre i 100°C poiché oltre si ha un degrado delle caratteristiche meccaniche e fisiche. La maggior conduttività termica della lega di Cu-Be-Co rispetto alla lega in Cu-Ni-Si o all'acciaio nitrurato porta ad una rapida dissipazione del calore; sono così ridotte le distorsioni e le dilatazioni durante l'iniezione ed in molti casi è possibile diminuire i tempi del ciclo di lavoro.

Una minor dilatazione porta ad una minor usura con un aumento della vita del pistone.

Una minore temperatura della parte frontale elimina la metallizzazione e l'aderenza dell'Al e diminuisce i tempi di solidificazione della materozza.

Per una vita prolungata del pistone è dunque indispensabile un buon raffreddamento: è consigliabile avere un basso spessore della testa del pistone supportato da uno speciale portapistone che con un apposito circuito garantisca la miglior circolazione dell'acqua. La temperatura di quest'ultima deve essere al massimo di 14÷16°C ed indicativamente la portata dovrebbe seguire la seguente tabella:

Pistoni in CuCo <sub>2</sub> Be	litri/minuti. H <sub>2</sub> O
fino diametro 60 mm	25
fino diametro 80 mm	30
fino diametro 100 mm	40
fino diametro 120 mm	45
oltre diametro 120 mm	50

Fig. 6.23. Rapporto diametro portata acqua

La lubrificazione del pistone d'iniezione può essere fatta con olio e con polveri. In ogni caso è importante che sia ben lubrificata la testa del pistone e tutta la camera d'iniezione. È possibile anche costruire appositi circuiti o tasche all'interno del contenitore per indirizzare il lubrificante solo nelle zone critiche. Il pistone in lega di Cu-Be-Co necessita meno lubrificante che un pistone in acciaio ed un pistone con fasce in acciaio. Inoltre sono eliminati i casi di grippamento e di usura del contenitore perché vengono fatti scorrere durante l'iniezione materiali diversi.

#### 6.3.4 SCELTA DEL DIAMETRO DEL PISTONE

Il corretto uso del pistone d'iniezione è condizionato da:

- un perfetto allineamento tra lo stelo d'iniezione ed il contenitore;
- un contenitore con coassialità, parallelismo, rotondità max 0,02 mm e foro con tolleranze H7;
- una buona lubrificazione del pistone;
- una tolleranza ben precisa tra pistone e contenitore;
- un ottimo sistema di raffreddamento del pistone.

È di fondamentale importanza la scelta del diametro in rapporto al getto in Al che si deve realizzare; la scelta del diametro del pistone dipende dai seguenti agenti:

- presenza di una pressione specifica sul metallo sufficiente per il riempimento di tutta la cavità;
- non superare la forza di chiusura della macchina da pressofusione;
- permettere il riempimento di almeno il 40÷60% del volume interno del contenitore per evitare soffiature, giunzioni fredde e moti turbolenti.

Per il calcolo del diametro è necessario conoscere il peso del getto che si vuole realizzare (compreso di canale di colata ed eventuali fagioli), la pressione specifica da esercitare sul metallo in base alle caratteristiche strutturali che il pezzo finale dovrà avere ed infine la lunghezza del contenitore e dell'eventuale bussola. Tutti questi valori vanno inseriti in un grafico chiamato normogramma d'iniezione che ci fornisce la misura del diametro del pistone; nella pratica questo valore viene approssimato per eccesso o per difetto in modo tale da avere al massimo 4÷5 diametri di pistoni per tutta la gamma di stampi presenti in una fonderia di media grandezza.



Si ricordi che:

- il tasso di riempimento R% è pari al rapporto tra volume del getto e volume della camera del contenitore;
- la pressione specifica sul metallo (lega di Al) varia dai 400 Kg/cm<sup>2</sup> per getti semplice ai 1200 Kg/cm<sup>2</sup> per getti tecnologici che richiedono minima porosità ed elevata tenuta alla pressione.

### 6.3.5 PISTONE IN ACCIAIO CON ANELLI IN LEGA DI RAME

Come evoluzione del pistone d'iniezione esiste la combinazione dell'acciaio e della lega in Cu<sub>2</sub>CoBe: si realizza il pistone con una particolare conformazione e con uno spessore ridotto della testa che andrà in appoggio sul porta-pistoni grazie ad uno specifico circuito di raffreddamento disegnato sulla testa del codulo. Il pistone e l'anello in lega di Cu<sub>2</sub>CoBe hanno sempre una temperatura bassa e formeranno un colletto di Al che, essendo il primo a raffreddarsi, crea una guarnizione naturale durante la fase d'iniezione.

Il porta-pistoni si realizza con un labirinto di raffreddamento nella zona di appoggio del pistone, una camera di raffreddamento per il mantello del pistone e un O.R. in Viton che non permette all'acqua di interessare la zona di fissaggio del pistone sul porta-pistone, si evita quindi la formazione di calcare sui filetti e non si avranno più problemi durante la sostituzione. Il pistone in acciaio da lavorazione a caldo serve per supportare un anello di tenuta in lega Cu<sub>2</sub>CoBe: con questa tecnologia è la lega di Cu che, scorrendo nel contenitore, garantisce la tenuta durante l'iniezione. Ovviamente durante l'uso si deteriorerà solo la fascia in lega di Cu, mentre il pistone in acciaio avrà praticamente una durata illimitata.

Il corretto uso del pistone d'iniezione con anello in lega di Cu<sub>2</sub>CoBe è condizionato da:

1. un perfetto allineamento tra lo stelo d'iniezione ed il contenitore;
2. un contenitore con coassialità, parallelismo, rotondità max. 0.02 mm e foro con tolleranze H7;
3. una perfetta lubrificazione dell'anello;
4. una tolleranza ben precisa tra anello-pistone e contenitore;
5. un ottimo raffreddamento del pistone.



Fig. 6.24 Pistone in acciaio con fasce in Cu

La fascia realizzata in una lega di Cu<sub>2</sub>CoBe ha una conduttività termica 10 volte superiore ad un anello realizzato in acciaio: questa è la prima condizione a favore dell'anello in Cu.

Inoltre l'anello in acciaio più lavora velocemente più tende a scaldarsi e si dilata: scorrendo in una camicia del medesimo materiale ad una temperatura diversa tende a "grippare", rovina i trattamenti superficiali del contenitore e non realizza iniezione sempre alla medesima velocità e potenza.

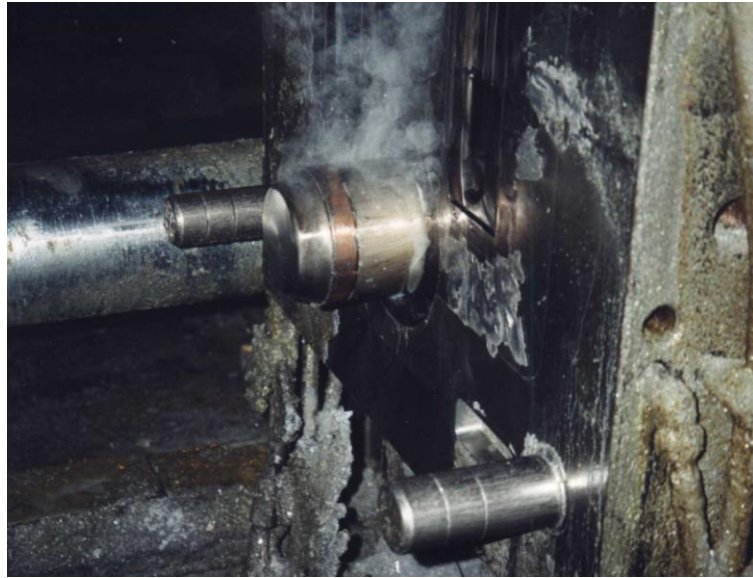
Il pistone, con un opportuno disegno della testa, formerà un colletto di tenuta sulla materozza: è questo colletto che ad ogni iniezione tenderà a dilatare l'anello per una perfetta tenuta.

L'anello in lega di Cu<sub>2</sub>CoBe offre la garanzia di poter essere raffreddato velocemente, non si hanno deformazioni tali da modificare il diametro di scorrimento e quindi si realizzano sempre iniezioni con le medesime caratteristiche.

Per la realizzazione degli anelli si impiega la seguente lega di Cu:

Denominazione	Co	Be	Si	Al	Cu
Cu-Be-Co	2,1÷2,4	0,45÷0,60	Max 0,2	Max 0,2	resto

Fig. 6.25 Denominazione e composizione chimica lega di CuCo<sub>2</sub>Be



*Fig. 6.26 Particolare di un pistone con anello*

Ogni anello è realizzato secondo le seguenti procedure:

- uso di barre forgiate;
- solubilizzazione ed invecchiamento per ottenere una durezza compresa tra 230÷250 HB;
- lavorazione meccanica su torni a controllo numerico;
- fresatura.

## **6.4 STELO**

La funzione dello stelo è quella di trasmettere il moto e la forza della pressione dal cilindro della macchina da pressofusione al pistone, riportare il pistone al punto di partenza a fine ciclo e portare il liquido di raffreddamento al pistone.

### **6.4.1 CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE**

Durante la progettazione e la fabbricazione dello stelo porta-pistone è necessario eseguire opportuni passaggi per il liquido raffreddante del pistone, allineare il suo asse con tutto il gruppo di iniezione e con il cilindro della macchina, realizzare un filetto che faciliti il montaggio e lo smontaggio del pistone ma che garantisca la tenuta senza giochi e scegliere un tipo di acciaio da bonifica che possa resistere alle sollecitazioni meccaniche e che abbia una resistenza di  $100\div 120 \text{ Kg/mm}^2$ .

Le principali operazioni meccaniche per la realizzazione dello stelo vengono eseguite sul tornio visto che è necessaria una lavorazione accurata ma non sono richieste finiture da rettifica.

# 7. STAMPO

## 7.1 INTRODUZIONE

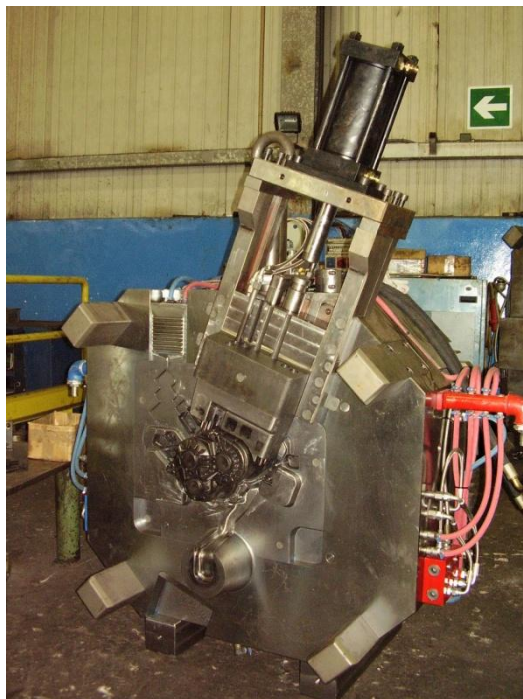
Lo stampo è costituito da un insieme di elementi metallici, di norma di acciaio per lavorazioni a caldo, che realizzano in posizione di chiusura il profilo di una cavità avente forma del getto da produrre e dei diversi condotti del sistema di alimentazione (colata) nei quali è iniettato il metallo fuso.

Lo stampo deve soddisfare a numerose esigenze:

- riprodurre esattamente la forma e la dimensione del getto;
- prestarsi dopo la solidificazione del metallo ad una espulsione del getto senza rotture e deformazioni;
- assicurare a caldo i movimenti relativi degli elementi mobili e di estrazione;
- resistere agli sforzi termici e meccanici dovuti alla colata/iniezione.

Uno stampo è composto da una parte fissa, ancorata alla piastra fissa della macchina, e da una parte mobile, legato al piano mobile dello stampo.

Sulla parte mobile e talvolta sulla fissa troviamo in taluni casi dei tasselli mobili chiamati radiali: la loro presenza è determinata dalla forma del getto, che presenta dei sottosquadri, o dalla necessità di creare nel pezzo dei fori il cui asse non giace sul piano di divisione.



*Fig. 7.1 Vista completa stampo*

Il prezzo di uno stampo è sempre molto elevato e viene ammortizzato sul numero dei getti da produrre (come ordine di grandezza il costo può raggiungere anche 1 Mln di €); una durata in servizio inferiore a quella prevista aumenta proporzionalmente il costo dei getti.

La durata di uno stampo può essere notevolmente prolungata scegliendo materiali adeguati e osservando scrupolosamente i trattamenti termici ai quali i materiali vengono sottoposti ed i cicli di lavorazione.

## 7.2 LAVORO TERMICO DELLO STAMPO

Lo stampo, oltre alla funzione di far assumere la geometria desiderata al metallo in fase di solidificazione, ha la funzione termica di assorbire il calore contenuto nella lega iniettata fino a farla solidificare ed a far scendere la temperatura della stessa fino al valore più adatto per l'estrazione del getto: per questa ragione si parla di lavoro termico dello stampo.

Ad ogni ciclo di iniezione allo stampo viene somministrato un impulso termico; l'entità di questi impulsi dipende dal contenuto termico della lega iniettata. Tale contenuto dipende da:

- quantità di metallo iniettata;
- temperatura della lega;
- caratteristiche fisiche della lega;
- temperatura di estrazione del getto.

L'apporto termico è dato dalla quantità oraria di lega che passa nello stampo (quindi dal peso del getto per la quantità oraria di getti prodotti). Per effetto ed in rapporto alla quantità di calore immesso lo stampo aumenta di temperatura fino al raggiungimento di equilibrio termico in cui:

$$\text{CALORE IMMESSO} = \text{CALORE DISPERSO}$$

Il punto di equilibrio si stabilisce ad una determinata temperatura in rapporto alla capacità dissipativa dello stampo a quel determinato regime termico.

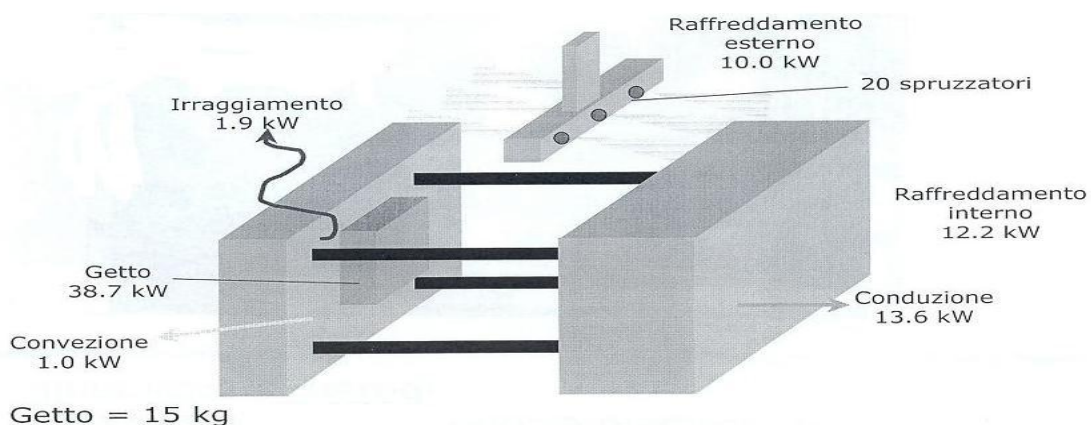


Fig. 7.2 Esempio di calcolo del lavoro termico dello stampo

La dissipazione di calore immesso nello stampo avviene in varie forme contemporaneamente e precisamente per:

- convezione ed irraggiamento verso l'ambiente;
- conduzione verso la macchina;
- asportazione (convezione) da parte dei liquidi contenuti nei circuiti di raffreddamento;
- spruzzatura (convezione) di liquidi distaccanti e raffreddanti sulla superficie della figura dello stampo.

Per dare un ordine di grandezza degli apporti termici che lo stampo deve assorbire e dissipare, si consideri l'esempio dello stampo 985823-I/3, montato sulla MPF 28 della Fonderia C in ALMEC S.p.A..

Il getto pressofuso ha un peso di 7,70 Kg e la temperatura della lega fusa è di 667°C. La temperatura di estrazione del getto è di 290°C ed il tempo ciclo è di 84 secondi, quindi la cadenza oraria corrisponde a 42,86 pezzi/ora.

Considerando che il calore latente di fusione della lega 46000 è pari a 93 Kcal/Kg e che il calore specifico è pari a 0,23 Kcal/Kg°C, avremo che il contenuto termico del getto è pari a:

$$[93 \text{ Kcal/Kg} + (667-290 \text{ °C}) * 0,23 \text{ Kcal/Kg°C}] * 7,70 \text{ Kg} = 1383,77 \text{ Kcal/pezzo}$$

Quindi il trasferimento di calore entrante nello stampo vale:

$$1383,77 \text{ Kcal/pezzo} * 42,86 \text{ pezzi/ora} = 59308 \text{ Kcal/h}$$

Il lavoro termico dello stampo è condizionato anche dal rapporto esistente tra la quantità di metallo iniettata e la superficie di scambio termico che il metallo presenta con lo stampo, a sua volta influenzata dallo spessore del pezzo e dalla geometria. Là dove lo spessore è più elevato della media del pezzo, la solidificazione avviene in un tempo maggiore e la struttura morfologica è diversa dal resto del pezzo.

Un'indagine micrografica ha permesso di verificare come in queste zone la morfologia strutturale sia più somigliante a quella di un pezzo fuso per gravità.

Per ovviare a questo inconveniente, in corrispondenza di queste zone lo stampo deve nel medesimo tempo assorbire un flusso termico più elevato o in altre parole, deve presentare una minore resistenza alla penetrazione termica.

### **7.3 TRASFERIMENTI DI CALORE**

È stato accertato che la solidificazione avviene a temperatura di interfaccia lega/stampo sostanzialmente costante; dopo la solidificazione, il raffreddamento del getto (che è sempre in contatto con lo stampo) prosegue fino al momento dell'estrazione ma la temperatura di interfaccia e la trasmissione del calore diminuiscono rapidamente successivamente all'istante in cui termina la solidificazione.

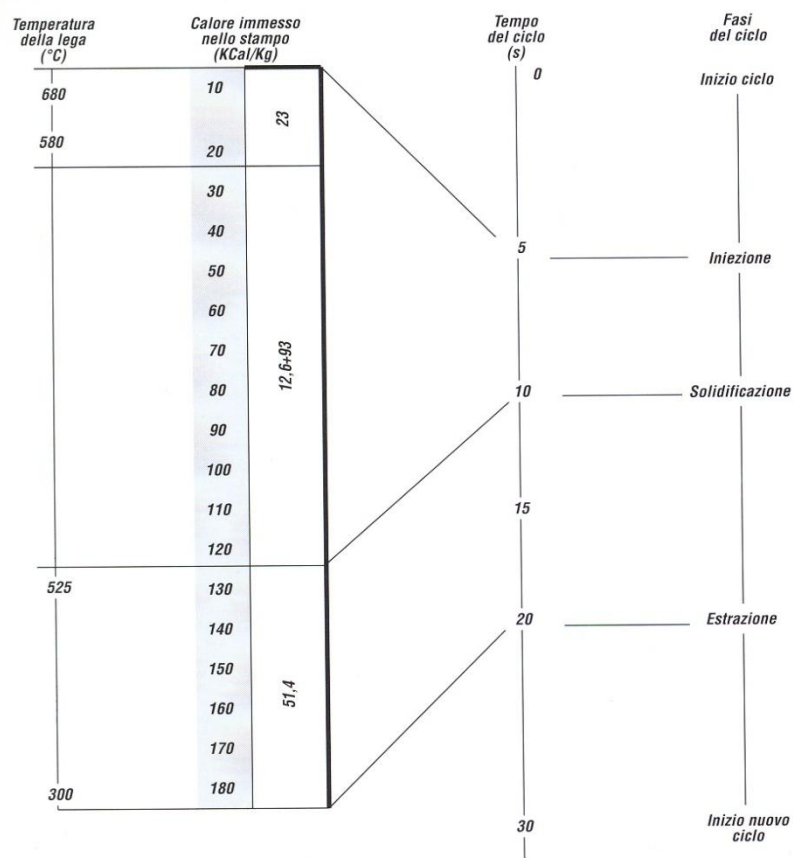


Fig. 7.3 Variazioni di intensità del flusso termico immesso nello stampo

Per meglio individuare l'entità del gradiente termico esistente in seno allo stampo nelle fasi più importanti del ciclo, durante l'intervallo tra un'iniezione e l'altra possiamo dividere il ciclo come segue:

- I fase, dall'iniezione alla solidificazione;
- II fase, dalla solidificazione all'apertura dello stampo;
- III fase, dall'apertura dello stampo all'iniezione successiva.

Al momento dell'iniezione lo shock termico provoca un aumento quasi istantaneo della temperatura della superficie dello stampo a contatto con il getto, poi il calore penetra nello stampo. La profondità di penetrazione è determinata dal tempo e dalle caratteristiche del materiale con il quale è stato realizzato lo stampo; per un comune acciaio H11 tale profondità è stato accertato essere uguale a circa il doppio dello spessore del pezzo.

Si constata allora come alla fine della solidificazione tutto il calore ceduto allo stampo sia accumulato in uno strato di spessore relativamente piccolo (che costituisce una specie di pelle termica) e non ha avuto ancora il tempo di diffondersi e penetrare negli strati sottostanti.

La seconda fase dura 5 volte più della prima e la trasmissione del calore è meno intensa.



### 7.3.1 GRADIENTE MEDIO

Se si lavora con ritmo regolare, gli impulsi termici apportati dalle successive iniezioni determinano un flusso medio costante che va dall'impronta verso il cuore dello stampo ed i canali di raffreddamento.

Le forme di dissipazione ed asportazione sono molteplici e concomitanti, e vengono qui di seguito rielencate:

- dissipazione per convezione;
- dissipazione per irraggiamento;
- dissipazione per conduzione;
- asportazione da parte dei circuiti di raffreddamento;
- asportazione per mezzo della spruzzatura delle impronte.

Le ultime due forme sono motivate dal fatto che il calore ceduto allo stampo per dissipazione naturale non è quasi mai sufficiente ad impedire che, ciclo dopo ciclo, lo stampo assuma una temperatura sempre più elevata.

#### DISSIPAZIONE PER CONVEZIONE

In fase operativa rileviamo sulle facce esterne dello stampo temperature variabili tra 70 e 120°C mentre l'aria ambiente si trova a 20÷30°C.

Sussiste quindi un gradiente termico (salto di temperatura) fra lo stampo e l'atmosfera di 40÷100°C.

L'aria in contatto con lo stampo si riscalda ed attiva un moto convettivo di circolazione che asporta calore dallo stampo.

La quantità di calore dissipata in questa forma è legata ai seguenti fattori:

- area della superficie dello stampo;
- gradiente di temperatura;
- stato di quiete o moto dell'aria.

Le quantità dissipate in questa forma sono modeste se lo stampo è chiuso ma diventano rilevanti se lo stampo è aperto e sono esposte all'aria oltre che le superfici laterali anche quelle frontali.

#### DISSIPAZIONE PER IRRAGGIAMENTO

La dissipazione del calore per irraggiamento (radiazione) è legata ai seguenti fattori:

- emissività del materiale;
- temperatura dello stampo;
- superficie dell'area di emissione.

La dissipazione per irraggiamento è strettamente dipendente dalla temperatura; la curva dei valori ha un andamento iperbolico. La dispersione è pertanto più alta quanto più elevata è la temperatura.

## DISSIPAZIONE PER CONDUZIONE

La dissipazione per conduzione è determinata dal fatto che lo stampo caldo è in contatto con i piani della macchina più freddi: si stabilisce pertanto un flusso termico che dallo stampo passa ai piani della macchina.

La temperatura di questi ultimi si eleva rispetto alla temperatura ambiente e pertanto dissipano a loro volta per convezione ed irraggiamento una certa quantità di calore.

Dei due piani della macchina quello che assume la temperatura più elevata e disperde quindi più calore è il piano fisso.

Si fa presente che le forme di dissipazione appena esposte sono concomitanti, continue e tra loro interrelate.

## ASPORTAZIONE AD OPERA DEL CIRCUITO DI RAFFREDDAMENTO

Il circuito di raffreddamento di uno stampo è essenzialmente realizzato mediante opportuni condotti idraulici ricavati nello spessore degli inserti di figura e disposti in modo da creare uno o più circuiti.



*Fig. 7.5. Centraline di termoregolazione*

Entro questi circuiti viene fatta circolare acqua o più raramente un fluido diatermico.

L'asportazione del calore avviene per cessione di calore dallo stampo al fluido refrigerante che entra ad una temperatura bassa e ne uscirà a temperatura più elevata.

La quantità di calore asportata da un circuito di raffreddamento dipende da:

- gradiente termico tra lo stampo ed il fluido;
- area del circuito in cui avviene lo scambio termico;
- portata del circuito.

Se il circuito è alimentato con acqua la capacità di asportazione del calore sarà elevata in relazione al calore specifico dell'acqua ( $1 \text{ Kcal}/^{\circ}\text{C Kg}$ ). La quantità di calore asportata sarà

inferiore se il circuito è alimentato con un fluido diatermico, olio o fluidi sintetici, che hanno un calore specifico più basso ( $0,44 \div 0,50$ )<sup>15</sup>.

Lo scambio termico tra lo stampo e il fluido è regolato (a parità di superficie di scambio del circuito) dal tipo di moto del fluido e sarà alto se il moto è turbolento, meno elevato se il moto è laminare.

#### ASPORTAZIONE PER MEZZO DELLA SPRUZZATURA DELLE IMPRONTE

Anche questo è uno dei mezzi a disposizione per raffreddare uno stampo. La spruzzatura delle impronte ha lo scopo di creare sullo stampo il film distaccante e lubrificante; esso è ottenuto con emulsioni acquose ed ha come effetto secondario quello di raffreddare lo stampo.

Il raffreddamento dovuto a spruzzatura avviene nei seguenti due modi concomitanti:

- asportazione di calore per riscaldamento dell'emulsione;
- asportazione di calore per vaporizzazione dell'acqua.

Va precisato che il calore asportato dalla spruzzatura delle impronte è quello della pelle termica e cioè il calore accumulatosi nel primo strato e che non ha avuto ancora il tempo di penetrare nello spessore dell'acciaio.

Quindi il calore viene rimosso direttamente là dove esso è accumulato senza attendere che esso penetri così come è necessario per il circuito interno di raffreddamento. Questo fatto, positivo agli effetti della rimozione del calore, ha però un risvolto di notevole importanza: acuisce lo stress termico dell'acciaio, sollecitandolo ad una maggior fatica termica che può accelerare la comparsa di fessurazioni superficiali.

## 7.4 EQUILIBRIO TERMICO

Teniamo anzitutto conto delle seguenti circostanze:

- il calore è immesso nello stampo dal metallo che solidifica e si raffredda;
- la quantità di calore immessa in un ciclo è proporzionale al peso del getto;
- la quantità di calore globale è legata alla frequenza delle immissioni (stampate/ora);
- per effetto del calore immesso lo stampo si riscalda in modo naturale e continuo e in relazione al suo gradiente termico disperde il calore nell'ambiente per convezione ed irraggiamento e verso i piani della macchina per conduzione (Kcal/ora);
- la dissipazione è continua finché lo stampo non ha la stessa temperatura dell'ambiente;
- la quantità dissipata nell'unità di tempo è proporzionale al gradiente dello stampo;
- la quantità di calore dissipata nell'unità di tempo dipende dalle caratteristiche dello stampo (peso e dimensioni).

---

<sup>15</sup> L'acqua è dunque più performante degli oli e dei fluidi sintetici ed è infatti il target per tutti gli impianti di lubrificazione in ALMEC; inoltre, essendo più comprimibile consente di arrivare a pressioni di 14-15 atm nei circuiti, contro le 2 atm degli oli: una maggior pressione favorisce l'abbattimento del gradiente anche perché il moto tende ad essere più turbolento.

Lo svantaggio dell'impiego dell'acqua è che essa può essere portata fino a 150-160°C, contro i 220°C degli oli. Sarebbe pericolosissimo se si raggiungesse la fase di evaporazione nei circuiti in quanto verrebbero a danneggiarsi le valvole degli stessi.

Se il calore dissipato è minore del calore immesso lo stampo avrà tendenza a riscaldarsi come avviene nella pratica industriale se teniamo conto della frequenza delle immissioni richieste da una produzione economica di pressofusi.

Al riguardo possiamo fare alcune considerazioni.

Lo stampo viene munito di un proprio sistema di asportazione del calore per mezzo di un circuito di raffreddamento; esso asporta calore in quantità che è funzione del gradiente termico interno allo stampo. Ora, la quantità di calore asportato dal raffreddamento interno dello stampo è regolabile entro un minimo ed un massimo in relazione alle caratteristiche del circuito e a seconda delle modalità di moto laminare o turbolento del fluido refrigerante e quindi è possibile pilotare (entro certi limiti) l'asportazione di calore secondo necessità.

Il calore è asportato anche dallo stampo dalla spruzzatura delle impronte per riscaldamento ed evaporazione dell'acqua contenuta nell'emulsione distaccante.

E così, dato che l'asportazione della superficie calda dell'impronta avviene in modo rapido, la quantità di calore asportata è proporzionale alla quantità di fluido spruzzato, ed inoltre l'asportazione di calore può essere localizzata ed interessare solo alcune parti dello stampo.

Questo è dunque un mezzo di asportazione del calore a disposizione, regolabile e localizzabile.

Sappiamo inoltre, per quanto ci risulta dalle considerazioni fatte nei precedenti paragrafi, che:

- il calore è immesso nello stampo in un tempo pari a circa  $1/6$  del tempo del ciclo;
- questo calore è asportabile nei rimanenti  $5/6$  del tempo del ciclo.

Dunque:

- l'equilibrio termico dello stampo si avrà quando il calore immesso è completamente evacuato nell'intervallo di tempo che intercorre tra l'espulsione del pezzo e la successiva iniezione;
- questo intervallo di tempo è dato dalla cadenza di produzione;
- la quantità di calore evacuata è determinabile regolando le asportazioni globali (agendo cioè su circuiti di raffreddamento e spruzzatura);
- l'equilibrio termico è ottenibile a diverse temperature dello stampo;
- generalmente queste temperature sono comprese tra  $200$  e  $350^{\circ}\text{C}$ ;
- entro questo range è compresa quella più adatta alla produzione del pezzo;
- la temperatura più adatta è quella che produce la solidificazione uniforme e progressiva del metallo dai fagioli all'attacco di colata.

Da quanto detto si intuisce come sia necessario che le varie grandezze impostate siano mantenute uniformi ciclo dopo ciclo e come il ciclo stesso debba avere una durata costante.

Possiamo quindi in definitiva dire che per fabbricare un pezzo pressofuso di qualità sono necessarie regolarità e continuità.

## 7.5 INFLUSSO DEL TEMPO CICLO SULL'ASPORTAZIONE DI CALORE

Le condizioni di equilibrio termico sono verificate quando nel tempo ciclo il calore immesso è completamente evacuato.

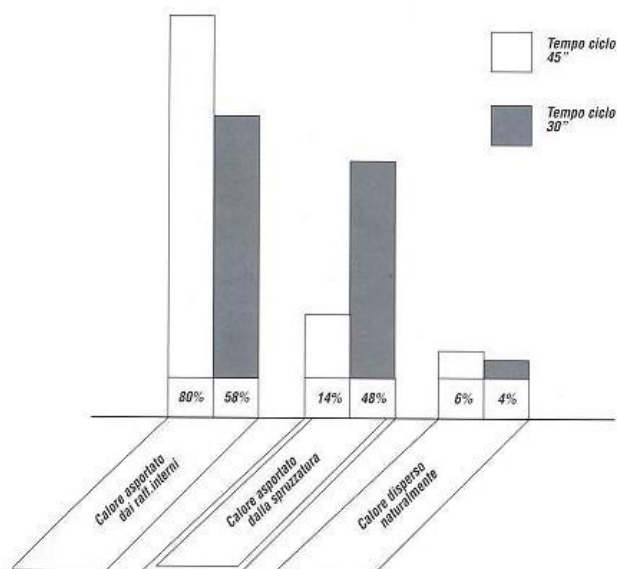


Fig. 7.6 Relazione tra tempo ciclo e calore asportato

Nella figura di cui sopra è riportata la ripartizione del calore disperso nel tempo di un ciclo di un pezzo effettivamente stampato.

La temperatura dell'impronta in gioco è approssimamente di 500°C per la durata di 0,5 secondi (corrispondente al tempo di solidificazione) poi la temperatura scende perché il calore ceduto penetra nello stampo e raggiunge i 285°C al momento dell'espulsione. Per cicli di durata di 35 secondi nei 20 secondi successivi la temperatura scende da 285 a 200°C: a questa temperatura verrà fatta la successiva iniezione.

Diremo allora che lo stampo ha un punto di equilibrio termico a 200°C (temperatura minima sulla superficie dello stampo).

Nel ciclo i sistemi di asportazione del calore dello stampo operano come segue:

- dissipazione naturale (continua);
- raffreddamento interno allo stampo (continuo);
- spruzzatura (a tempo limitato).

Nella stessa figura si può vedere che, assegnate le percentuali di asportazione dei vari sistemi, viene evidenziato come, riducendo di 1/3 il tempo ciclo e volendo mantenere l'equilibrio termico allo stesso livello di temperatura, la percentuale di asportazione fatta dalla spruzzatura passi dal 14 al 48%. Ciò è possibile aumentando la portata degli ugelli di spruzzatura e la quantità di fluido erogato.

Si noti come nel primo caso il controllo nella regolazione del sistema interno di raffreddamento sia molto importante in quanto rappresenta l'80% di asportazione del carico termico.

Nel secondo caso (ciclo di 30 secondi) il raffreddamento interno perde parte dell'importanza mentre diventa più importante il controllo dell'asportazione del carico termico mediante spruzzatura.

## **7.6 DIVISIONE DEL PEZZO IN SEZIONI TERMICHE**

Nei pezzi pressofusi difficilmente riscontriamo la situazione termica ideale (pezzi aventi la forma di una lastra piana a sezione costante) per cui il calore ceduto è uguale su tutta la superficie della cavità dello stampo. Di solito invece i pezzi hanno le geometrie più disparate, spessori non sempre uniformi, nervature, alettature, borchie etc.

La solidificazione delle diverse sezioni del pezzo non avverrà nel medesimo tempo ma questo sarà maggiore là dove gli spessori sono più elevati o vi sono concentrazioni di calore.

È pur vero però che la solidificazione tende ad uniformarsi con un'opportuna scelta dei seguenti fattori:

- conducibilità interna delle leghe;
- conducibilità interna dell'acciaio.

Per cui i punti caldi cedono calore alle adiacenti zone più fredde ma ciò avviene in misura trascurabile

Il primo passo per analizzare il flusso di calore che lo stampo deve assorbire è quello di suddividere il pezzo in sezioni o segmenti termici.

Per questa divisione sono usualmente utilizzati gli stessi segmenti già considerati per il calcolo del dispositivo di colata, con le varianti del caso.

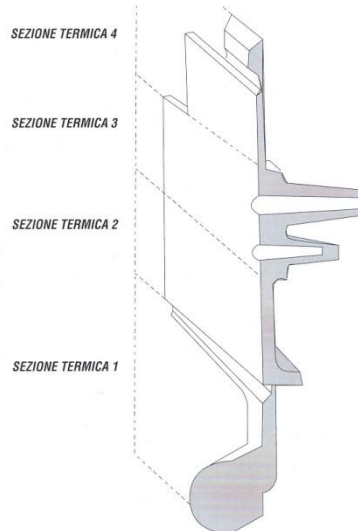
Nella Fig. 7.7 è riportata, a titolo di esempio, la divisione di un ipotetico pezzo in sezioni termiche, e sono stati indicati peso e contenuto di calore di ogni sezione termica.

Il calore contenuto in ciascuna sezione è assorbito localmente dallo stampo che verrà ad assumere un carico termico diverso da zona a zona.

La divisione del pezzo in sezioni termiche ci permette di individuare le zone ed il relativo carico termico, così da poter predisporre raffreddamenti interni dello stampo, riserve di calore nelle zone con scarso apporto termico, e modalità di raffreddamento mediante spruzzatura.

Pressofusi ideali accoppiati a stampi ben progettati sotto il profilo termico e correttamente utilizzati, hanno mostrato che la solidificazione inizia dai pozzetti di trascinamento (fagioli) passando attraverso tutto il pezzo per completarsi nei canali di colata; infatti generalmente le sezioni più calde sono i canali e le zone vicino l'attacco di colata.

Contenuto termico del pezzo, posto che, in relazione al tempo di riempimento e alla situazione di temperatura del metallo/stampo, il calore perduto nel tragitto di riempimento sia del 20%.



SEZIONE TERMICA	PESO KG	CALORE CONTENUTO KCAL	CALORE PERDUTO KCAL	CALORE AGGIUNTO KCAL	CONTENUTO TERMICO REALE KCAL
4	0,109	20,6	- 4,1		16,4
3	0,550	103	- 20,4	+ 2,1	84,7
2	0,270	50,5	+ 20,4	+ 2,1	73
1	0,140	26,2			26,2
<b>TOTALE</b>		<b>200,3</b>	<b>-4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>200,3</b>

Sez. A		Sez. B	
NELLA SEZIONE N°4 IL CARICO TERMICO DIMINUISCE DA 20,5 A 16,4 KCAL		NELLA SEZIONE N°3 IL CARICO TERMICO DIMINUISCE DA 103 A 84,7 KCAL	
NELLA SEZIONE N°2 IL CARICO TERMICO AUMENTA DA 50,5 A 73 KCAL		IL CARICO TERMICO DELLA SEZIONE N°1 (DISPOSITIVO DI COLATA) SI PRESUPPONE RIMANGA INVARIATO	

Fig. 7.7 Divisione del pezzo in sezioni termiche

## 7.7 DEGRADO TECNOLOGICO DEGLI STAMPI

Gli stampi in servizio sono soggetti ad un “tormento” causato principalmente da:

- cicli di forte shock termico con conseguenti cicli di dilatazioni, contrazioni e tensioni);
- erosione per lo scorrimento di metallo fuso;
- sollecitazioni meccaniche per la pressione del metallo liquido.

Questi tre fattori concorrono a provocare l’usura delle superfici delle impronte, usura che si manifesta in forma di cricchiate e provoca col tempo la messa fuori uso dello stampo.

### FATICA TERMICA

La causa più rilevante resta la fatica termica a ciascuna iniezione viene accompagnato un surriscaldamento superficiale delle impronte, di qualche mm, prima che il calore penetri nella massa dello stampo, creando nel medesimo tensioni interne.

L'escursione termica superficiale oscilla tra un massimo subito dopo l'iniezione ed un minimo prima dell'iniezione seguente. Ne consegue una fatica termica che porta alla formazione di finissime fessurazioni che, progredendo, si raggruppano in cricche tendenti a localizzarsi dove maggiore è il tormento:

- spigoli senza adeguate raggature;
- aree prossime ai fori delle spine e degli espulsori.

Da queste zone le cricche a poco a poco irradiano, si dilatano cioè al punto da poter trattenere particelle anche minime di lega fusa che, consolidandosi, trattengono il getto al momento dell'espulsione.

Per ridurre il fenomeno delle criccate occorre anzitutto contenere le variazioni termiche entro un ciclo regolare con stampo in equilibrio termico; evitare di avviare la produzione con lo stampo non sufficientemente riscaldato; aprire bruscamente i raffreddamenti quando lo stampo è molto caldo: in questo caso lo shock termico può provocare addirittura l'incrinatura del blocco di acciaio.

L'insufficiente riscaldamento iniziale viene statisticamente riconosciuto come causa per il 30% responsabile del degrado prematuro.

## EROSIONE

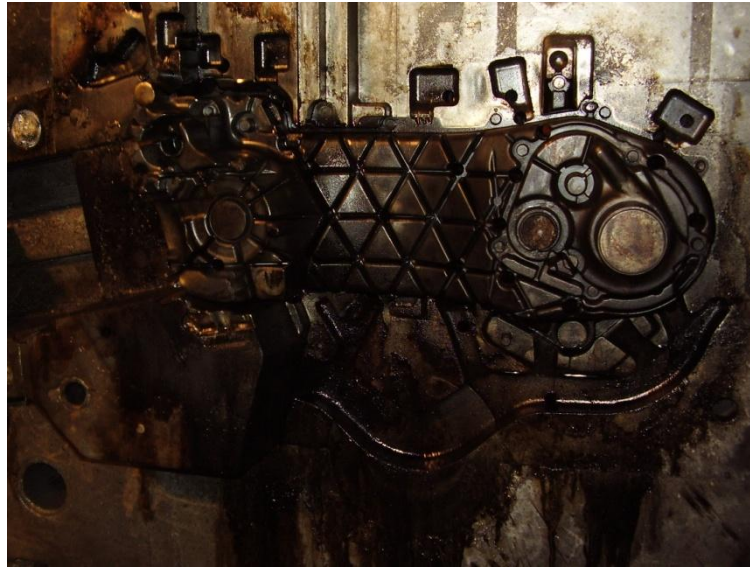
La lega fusa entra ad alta temperatura ed, esaltata dalla pressione e dall'attrito, specialmente nelle strettoie, determina un rapporto elettromagnetico particolare con l'acciaio. In queste condizioni i fattori concausanti l'erosione sono:

- Velocità della corrente;
- Temperatura del metallo;
- Caratteristiche chimiche ed elettro-meccaniche della lega.

In questo senso sono determinanti i lubroseparatori che:

- svolgono azione lubrificante interponendo un velo isolante alle cariche elettromagnetiche che si formano;
- smorzano lo shock termico in fase di riempimento;
- accelerano il processo di riempimento quindi abbreviano il periodo sopra citato di massima temperatura superficiale.





*Fig. 7.8 Esempio di stampo usurato*

### METALIZZAZIONE

Il fenomeno è dovuto all'implosione: una sacca d'aria anziché essere espulsa è riassorbita dalla lega fusa e, causa l'alta temperatura, tende a dilatarsi e comunque ad esaltare la propria pressione, soprattutto nei punti in cui la lega cambia bruscamente direzione.

La saldatura, o attaccatura, è causata dall'esaltazione della pressione interna che porta a intima unione tra l'acciaio dello stampo e la lega.

La presenza fino all'1% di Fe contrasta la saldatura riducendo l'aggressività della lega.

L'Al tende a sciogliere anche i metalli ferrosi, provocando metalizzazioni (attaccature e aderenze) superficiali; queste creano strappi superficiali sui pezzi, rendono difficoltosa l'estrazione ed inducono a deformazioni.

Per ridurre il fenomeno occorre operare a:

- temperatura della lega non troppo superiore al punto di fusione ( $680\div 700^{\circ}\text{C}$ );
- velocità le più contenute possibili (non oltre i 50 m/s);
- temperatura dello stampo ottimale ( $200\div 300^{\circ}\text{C}$ ) affinché la minor temperatura della superficie eserciti effetto repellente sul getto, accelerando la solidificazione e quindi prevenendo la metalizzazione);
- pressione finale la più bassa possibile in rapporto alle esigenze del pezzo.

### DEFORMAZIONI E SCHIACCIATURE

La struttura dello stampo è data dalla parte centrale contenente la cavità in cui sarà colato il metallo liquido (figura) e dal perimetro (piastre di inquadramento).

La figura assorbe enormemente più calore rispetto alla periferia perché riceve periodicamente la lega fusa.

Il risultato di questa somministrazione di calore è l'aumento di temperatura, dilatazioni della figura che non può sfogarsi verso l'esterno ma porta i piani dei semistampi, specialmente intorno alla figura, a diventare convessi.

Il fenomeno è mitigato, ma non eliminato, dai circuiti di raffreddamento che passano  $25\div 30$  mm dietro le figure e che cercano di mantenere l'equilibrio termico.

Quando si chiudono i semistampi, questi appoggiano tra di loro prima al centro, poi via via verso l'esterno creando sforzi di compressione che possono dar luogo a schiacciature dei profili della figura: l'uso corretto di raffreddamenti neutralizza questa tendenza.

Le schiacciature possono anche essere causa di formazione di bave attorno al getto (sugli sfoghi d'aria, infiltrate tra gli aggiustaggi, al limite degli sfridi o per materozza troppo abbondante).

Per contrastare questi fenomeni è necessario:

- non chiudere bave tra i semistampi;
- materozza e scarichi d'aria devono rimanere attaccati al getto in fase di estrazione;
- lo stampo non deve spruzzare: lo spruzzo indica chiusura imperfetta dei due semistampi per la presenza di spessori come sopra descritto o residui induriti di lubrificante in eccesso;
- usare correttamente i raffreddamenti;
- mantenere costanti ritmo e temperature,
- regolare accuratamente il dispositivo di sicurezza dello stampo.

Tutte queste misure presuppongono a monte altri accorgimenti:

- mantenere nel forno la temperatura stabilita;
- mantenere velocità e pressione prescritte;
- monitorare il corretto e dosato svolgimento del ciclo di lubrificazione;
- evitare di chiudere lo stampo in presenza di bave;

Lo stampo rappresenta il cuore della MPF; è un fattore determinante del costo, in relazione alla serie; ogni suo difetto porta a rallentamento produzione, aumento scarti, con secco influsso negativo sul rendimento della pressa.

## 7.8 COMPONENTISTICA PER STAMPI

In questo paragrafo infine vengono brevemente approfondite spine, estrattori, maschi, anime, cannocchiali e tutta la ricambistica degli stampi da pressofusione con acciai legati da lavorazione a caldo.



*Fig. 7.9 Piastra estrattori*

Accanto ai tradizionali acciai da stampo (X38CrMo, X40CrMo) questi componenti, poiché devono subire delle altissime sollecitazioni, vengono realizzati con acciai speciali.

Questi acciai sono caratterizzati da:

- elevatissima resistenza alle alte temperature;
- eccezionale resistenza alla fatica termica ed agli shock termici;
- eccellente tenacità e duttilità sia in senso trasversale che in senso longitudinale;
- elevato ed uniforme livello di lavorabilità;
- buone proprietà di trattamento termico;
- miglior conducibilità termica rispetto agli acciai tradizionali per lavorazione a caldo.

Sono acciai non convenzionali, di qualità superiore e specificatamente sviluppati per applicazioni ad elevata temperatura.

Brevemente vengono esposte nella tabella seguente i principali elementi presenti in questi acciai:

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
0,38	0,3	0,75	2,6	2,25	0,9	rimanente

*Fig. 7.9 Componenti degli acciai*

La loro eccellente resistenza a caldo limita in modo sostanziale la formazione di cricche da fatica termica e quindi prolunga la vita degli inserti.

La lavorazione meccanica viene effettuata su torni a controllo numerico e su centri di lavoro; la rettifica viene invece effettuata su macchine a controllo numerico per rispettare le tolleranze richieste.

Le spine, maschi, anime, bussole e cannocchiali possono essere fornite allo stato bonificato o con rivestimenti termo-chimici superficiali:

- nitrurazione in fase gassosa;
- nitrurazione ionica in plasma;
- P.V.D. (Nitruro di Cr, Nitruro di Zirconio o rivestimenti multistrato).

In ogni caso tutti i prodotti vengono realizzati su disegno del cliente.

## 7.9 CENNI DI PROGETTAZIONE

In conclusione a questo capitolo riportiamo come cenno sulla progettazione dello stampo la formula per il calcolo della sezione di attacco di colata per un particolare pressofuso.

$$FA = MA / ( Tr * VA )$$

FA = sezione attacco di colata [mm<sup>2</sup>];

MA = volume del metallo liquido passante per l'attacco di colata [cm<sup>3</sup>];

Tr = tempo di riempimento dello stampo [s].

VA = velocità all'attacco di colata [m/s].

Spessore parete [mm]	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0	3,8
Tempo di riempimento[s]	0,01÷0,03	0,02÷0,04	0,02÷0,06	0,03÷0,07	0,04÷0,09	0,05÷0,10	0,05÷0,12

Fig. 7.10 Rapporto spessore parete/tempo di riempimento

Velocità all'attacco di colata per leghe di Al [m/s]	Tipo di particolare
20÷40	Non strutturale
40÷60	Strutturale
15÷30	Colato con tecnologia sotto vuoto

Fig. 7.11 Velocità del metallo liquido all'ingresso sull'attacco di colata

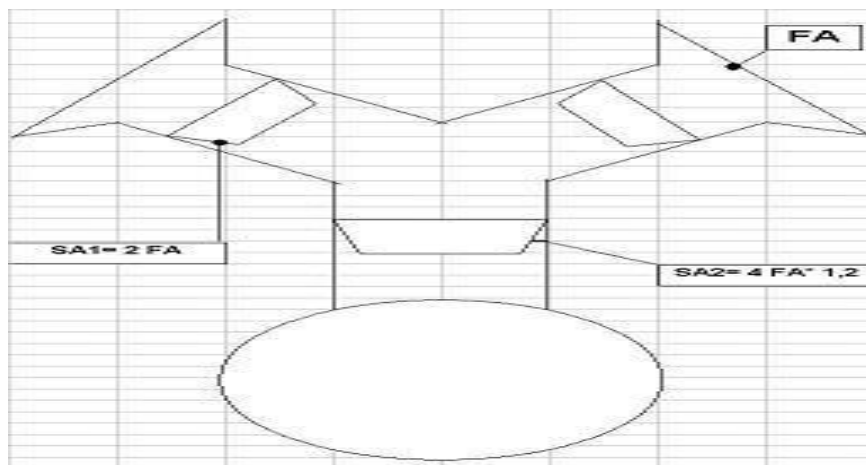


Fig. 7.12 Schema attacco di colata

## **8. LUBRIFICAZIONE**

### **8.1 INTRODUZIONE**

Per lubrificazione delle impronte si intende l'operazione di deposizione di uno o più prodotti lubrificanti sulle superfici di lavoro degli stampi e conseguente formazione su di esse di una patina o film.

La lubrificazione delle impronte, che comprende le fasi di spruzzatura ed asciugatura, è uno dei fattori determinanti nelle operazioni di pressofusione e possiamo senz'altro affermare che essa costituisce una chiave determinante per l'ottenimento della qualità in questo processo.

### **8.2 FUNZIONI DELLA LUBRIFICAZIONE**

Le funzioni principali della lubrificazione dello stampo si possono riassumere come segue:

- formazione di uno strato separante termo-fisico tra la lega e le cavità;
- formazione di un film lubrificante tra le stesse, allo scopo di agevolare l'estrazione ed il movimento delle parti mobili;
- raffreddamento della superficie dello stampo, allo scopo di permettere al lubrificante stesso di lavorare entro il proprio range e contribuire al mantenimento dell'equilibrio termico;
- funzione protettiva/attutente dallo schiaccio dell'iniezione di lega nei confronti dello stampo.

#### **FUNZIONE SEPARANTE**

Questa funzione è svolta dallo strato di ossido amorfo prodotto dalle reazioni chimiche innescate per l'elevata temperatura della pelle dello stampo e dai prodotti attivi poggiati sull'ossido non interessati dalle reazioni.

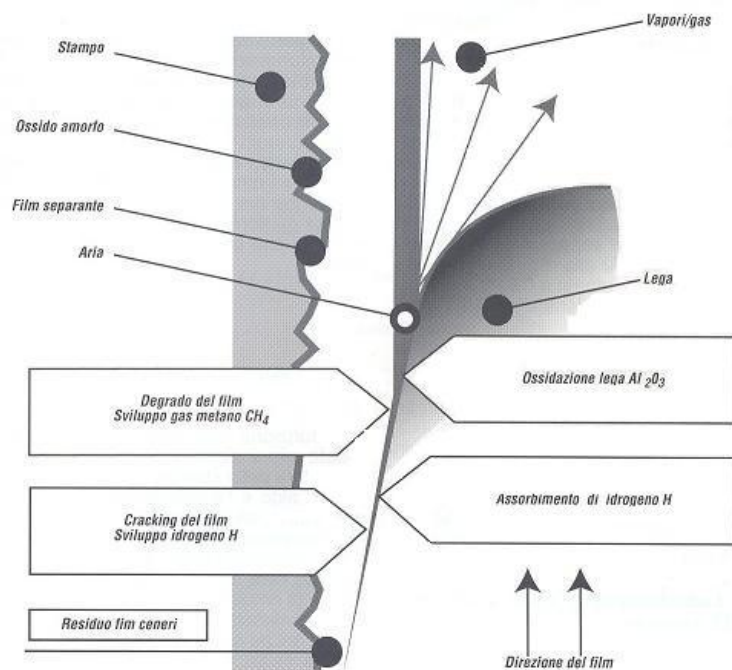


Fig. 8.1 Deposizione e caratteristiche del film

Il film impedisce il contatto diretto fra il metallo fuso e l'acciaio, contatto che può comportare una minore qualità del getto ed una minor vita utile dello stampo, senza contare la sospensione della produttività della macchina.

Alla base della necessità di scongiurare un simile contatto vi è il fatto che l'Al, a temperature superiori ai 700°C, tende a comportarsi da solvente universale (si dice che l'Al degrada lo stampo) e disciogliere pertanto il Fe contenuto nell'acciaio dello stampo (oltre il 90%) secondo la seguente reazione:



Per impedire che ciò avvenga le impronte vengono spruzzate con del lubrificante in modo da garantire una barriera tra i due metalli. Se questa barriera non ci fosse o venisse a distruggersi sotto l'azione del flusso di lega entrante nella cavità, i risultati sarebbero molto probabilmente la metallizzazione della cavità dello stampo o vere e proprie saldature tra lega e stampo.

L'agente separante, oltre ad impedire l'aggressione dell'Al verso lo stampo, esplica anche una funzione di isolamento termico. La pellicola lubrificante possiede infatti una conducibilità termica piuttosto bassa e ciò rallenta lo scambio termico tra lega e stampo, ritardando la solidificazione della lega fusa e diminuisce il salto termico sulla superficie dello stampo durante un ciclo.

Peraltro il film costituisce una barriera non solo solida ma anche aeriforme, in quanto per effetto dell'elevata temperatura della lega alcune frazioni di lubrificante si trasformano in gas e vapori creando un micro-cuscinetto, come si illustrerà meglio nel seguito.

## FUNZIONE LUBRIFICANTE

Dopo l'iniezione il film precedentemente formatosi sullo stampo dalla spruzzatura risulta assottigliato o distrutto e di esso non rimangono che una frazione residua e le sue ceneri; è in questo momento che si esplica l'azione lubrificante.

Risulta evidente che nella fase di lubrificazione in senso ampio avvengono due serie di trasformazioni:

- quella per il contatto lubrificante-stampo, che produce prima vapore, poi ossidi ed infine lubrificante intatto;
- quella per il contatto aria di asciugatura-lubrificante, che assottiglia o rimuove il lubrificante in eccesso;
- quella per il contatto lega-lubrificante, che produce gas<sup>16</sup>, ceneri e frazioni residue di lubrificante.

Questi elementi più o meno combustibili devono assolvere al compito di lubrificare il getto nella fase di estrazione ad una temperatura compresa tra 280÷350°C, leggermente superiore a quella dell'acciaio dello stampo.

Nel caso specifico la lubrificazione esercitata assolve a compiti di tipo statico, dinamico e funzionale alle parti mobili, come meglio spiegato nel seguito.

## LUBRIFICAZIONE STATICA

Il lubrificante interposto tra lo stampo ed il getto impedisce la coesione tra i due metalli che sono tra loro pressati a 60÷100 MPa e riduce lo sforzo iniziale di distacco del getto. Lo sforzo di distacco deve essere contenuto a mezzo del lubrificante nei limiti di resistenza a caldo offerti dalla lega; in caso contrario si determinano deformazioni o sfondamenti. Va infatti sottolineato che a temperature dell'ordine dei 300°C la lega solidificata è ancora relativamente plastica ed in particolari punti del getto può essere ancora in stato di fragilità.

Lo sforzo iniziale di stacco viene anche ridotto da una certa pressione che i vapori e i gas prodotti dal film lubrificante esercitano in fase di decomposizione<sup>17</sup>. Sotto questo profilo è desiderabile che il film non venga completamente distrutto in fase di iniezione così che la frazione rimasta continui la sua decomposizione anche dopo l'iniezione, di modo che i gas che si sviluppano, non trovando via d'uscita, possano esercitare una pressione sul getto favorendo così il distacco.

## LUBRIFICAZIONE DINAMICA

L'aspetto dinamico della lubrificazione si manifesta quando, in fase di estrazione, il getto deve scorrere sulla forma d'acciaio che lo ha generato determinando un attrito di tipo radente. Non esistono in letteratura dati precisi sul coefficiente di attrito tra acciaio ed Al a temperature elevate ma per dare un'idea delle grandezze in gioco si pensi che tale coefficiente

---

<sup>16</sup> I gas che si liberano durante l'iniezione includono anche vapori d'acqua in quanto l'asciugatura:

- non rimuove tutta l'umidità molecolare;
- spesso non è dimensionata correttamente, producendo zone troppo asciugate ed altre troppo poco;
- non tiene conto che la formazione in spruzzatura degli ossidi può determinare che sacche umide sul lato che guarda allo stampo in quella fase restino imprigionate (in iniezione poi la cavità umida crea una leva di rimozione dell'ossido).

<sup>17</sup> La produzione di gas da parte del film durante l'iniezione ha dunque origine sia fisica che chimica.

di attrito, a secco tra acciaio duro ed Al a 20°C, è 0,65. Considerato lo stato di relativa plasticità dell'Al a temperature comprese tra 280÷350°C si può supporre che il coefficiente di attrito sia più alto e ragionevolmente stimarlo in valori prossimi a 0,9.

I valori sopra citati sono molto elevati; di qui la necessità di ridurli drasticamente a mezzo di un opportuno lubrificante. I residui del film devono quindi anche effettuare una lubrificazione di tipo semi-secco in presenza di attrito radente tra acciaio ed Al.

Un'insufficiente o inadatta lubrificazione in questa fase può provocare deformazioni, incrinature e rotture del getto.

La lubrificazione dinamica risulta tanto più critica quanto più la geometria del pezzo tende ad essere ostile all'estrazione, ad esempio a causa di angoli di sforno ridotti o porzioni di figura in sottosquadro. In tali casi è raccomandabile una lubrificazione più generosa.

### LUBRIFICAZIONE DELLE PARTI MOBILI DELLO STAMPO

La spruzzatura delle cavità dello stampo inevitabilmente investe anche parti fuori figura, ove possono essere localizzati corsoi, tasselli mobili, spine etc. Questa forma di lubrificazione spesso non è progettata come effetto diretto ma si dimostra abitualmente molto utile.

Le parti mobili infatti operano a temperature comprese tra 100÷200°C e spesso scorrono su piste o lardoni trattati termicamente (temperati). A causa dei movimenti che essi realizzano si sviluppano degli attriti di tipo radente, generalmente tra acciaio ed acciaio. Il coefficiente di attrito è molto più basso che non nel caso dell'estrazione, valendo a 20°C circa 0,39: le esigenze poste al lubrificante sono pertanto più modeste.

Generalmente queste parti mobili sono lubrificate al montaggio con speciali paste, come Cu-Pb, grassi grafitati e bisolfuro di molibdeno. La lubrificazione è successivamente mantenuta proprio dalla porzione di film che viene a formarsi, specie sulle parti terminali interne, in conseguenza della spruzzatura delle cavità dello stampo; il degrado del film (in queste zone meno accentuato) è sotto questo aspetto non molto favorevole.

La formazione di grosse molecole viscoso mantiene in posizione i lubrificanti di base degli elementi mobili, che altrimenti scorrerebbero via a causa della temperatura.

In generale si osserva come la lubrificazione indiretta dalla spruzzatura sia sufficiente a consentire il regolare funzionamento di detti elementi. Casi particolari possono richiedere l'applicazione, una tantum, di prodotti speciali anzidetti.

### FUNZIONE RAFFREDDANTE

La funzione raffreddante della spruzzatura si manifesta nella fase di bagnatura dello stampo per effetto dell'impatto della nube d'acqua polverizzata contro le impronte.

Questa funzione non rappresenta un obiettivo diretto ma diventa di fatto propedeutica alle altre funzioni in quanto il film possiede un range di lavoro al di fuori del quale non si forma.

Più specificamente, al di sopra del range il film non riesce ad aderire alle cavità; al di sotto il principio attivo non si trasforma in ossido amorfo e gli shock termici lega-stampo diventano eccessivi<sup>18</sup>.

La polverizzazione del prodotto distaccante è realizzata con l'uso di aria compressa. Lo spruzzo sarà quindi composto da aria e goccioline di emulsione.

---

<sup>18</sup> Sarebbe sempre meglio, in via del tutto teorica, se lo stampo si raffreddasse il meno possibile in modo da allungare la propria vita utile, scongiurare le solidificazioni premature, ridurre il consumo di lubrificante ed i tempi di lubrificazione.



Anche l'aria esercita una funzione raffreddante ma molto più blanda (in questo contesto si intende l'aria di polverizzazione, non quella di asciugatura).

Il calore asportato dall'aria non è determinabile in quanto il rapporto emulsione/aria di polverizzazione non è un valore fisso ma può variare secondo le necessità.

Per dare una dimensione della quantità di calore asportata mediante lubrificazione e facendo le seguenti ipotesi:

- rapporto emulsione/aria: 1:600;
- temperatura assunta dall'aria: 100°C;
- calore specifico dell'aria: 0,30KCal/m<sup>3</sup>°C.

Si può affermare che la spruzzatura di un litro di emulsione sullo stampo, posto che questa venga completamente trasformata in vapore, sottrae allo stampo 637Kcal, pari a quelle cedute in fase di solidificazione e raffreddamento fino alla temperatura ottimale di estrazione, per un getto di 3,5 Kg raffreddato con questo unico mezzo. Va sottolineato che nella pratica non tutto il litro di emulsione spruzzato si trasforma in vapore perché una parte non si riscalda abbastanza e cade a terra.

In definitiva quindi il lubrificante spruzzato sulle impronte può:

- evaporare senza raggiungere le impronte;
- evaporare in seguito al raggiungimento;
- ancorarsi alle impronte senza evaporare;
- precipitare a terra prima del raggiungimento della superficie;
- precipitare dopo il raggiungimento per l'eccessiva quantità spruzzata.

La percentuale di principio attivo del liquido spruzzato è molto variabile e dipende dalle modalità dello spruzzo, dalla geometria e dalla temperatura delle impronte.

Si stima comunque che un'emulsione con principio attivo al 20÷40% (percentuale rilevata prima della miscelazione con la base) sia sufficientemente efficace agli effetti del raffreddamento. L'azione di raffreddamento data dalla spruzzatura è molto efficace ed occorre sottolineare che è anche più immediata, rispetto a quella dei circuiti refrigeranti, in quanto asporta il calore dalla pelle termica dello stampo.

L'importanza del raffreddamento dato dalla spruzzatura diviene via via più elevata in rapporto alla cadenza di produzione.

#### FUNZIONE ATTUTENTE

Questa funzione indica il comportamento ammortizzante del lubrificante, il quale è il primo elemento ad esser colpito dal getto di lega liquida. La velocità di iniezione del metallo supera i 50 m/s, pertanto la possibilità che lo stampo si danneggi per via di questo "schiaffo" esiste. Il lubrificante in tal senso tende a scongiurare questa eventualità.

### 8.3 MECCANISMO DI FORMAZIONE DEL FILM

Quando si spruzzano le superfici calde dello stampo, che possono trovarsi a temperature tra  $150\div 350^{\circ}\text{C}$ , con l'emulsione convenientemente diluita si verificano diversi fenomeni di natura sia fisica che chimica.

Per meglio comprenderli si immagini di seguire una goccia di emulsione che arriva sulla superficie dello stampo e si osserveranno in sequenza i seguenti fenomeni:

1. vaporizzazione dell'acqua;
2. reazioni chimiche tra la parte attiva dell'emulsione e l'acciaio dello stampo;
3. ebullizione ed evaporazione dell'emulsione;
4. aggancio dei prodotti attivi alla superficie dello stampo.

#### VAPORIZZAZIONE DELL'ACQUA

È esperienza comune che goccioline di acqua che cadano su superfici roventi rimbalzino senza bagnarla. Questo effetto è definito di Leinderfrost, dal nome del fisico che ha studiato il fenomeno. Come la goccia tocca la superficie calda infatti si forma un cuscinetto di vapore che contrastano l'adesione della goccia alla superficie. L'acqua è così rifiutata dalla superficie calda.

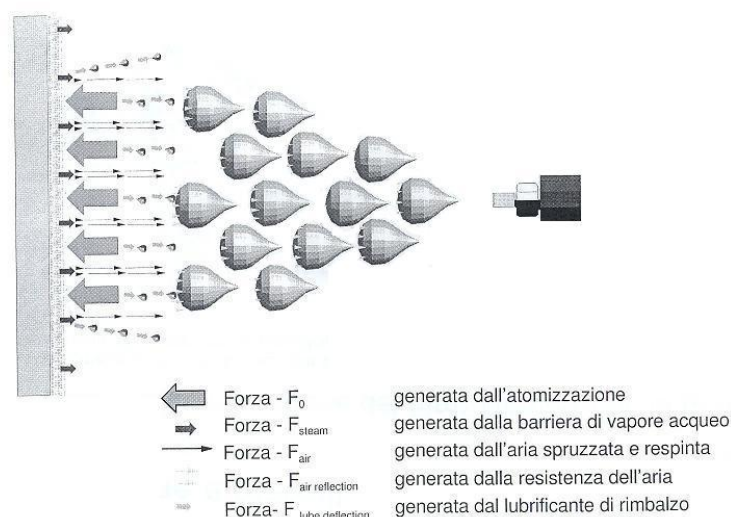


Fig. 8.2 Formazione del film lubrificante, con effetto Leinderfrost

L'effetto Leinderfrost è tanto più marcato quanto più alta è la temperatura della superficie ed in funzione della tensione superficiale dell'acqua. La vaporizzazione della frazione della goccia asporta energia termica dalla superficie, creando un processo a catena tale che le gocce successive troveranno temperature via via più basse, riuscendo alla fine a bagnare lo stampo.

#### REAZIONI CHIMICHE E FISICHE TRA L'EMULSIONE E LO STAMPO

Tra le sostanze attive dell'emulsione che non vaporizzano, si trovano additivi favorevoli alla formazione di un velo di ossido sulle superfici dello stampo. Questo è perfettamente ancorato e, grazie alla sua bassa conducibilità termica, forma un'efficace barriera isolante a favore delle gocce successive facilitando loro l'ancoraggio.

Esso inoltre forma un'efficace barriera all'aggressione dell'Al fuso verso lo stampo.

## EBOLLIZIONE ED EVAPORAZIONE

Le gocce di emulsione attaccate allo stampo si riscaldano fino all'ebollizione e successiva evaporazione, sottraendo calore allo stampo ed abbassando la temperatura delle superfici. La bagnabilità è favorita anche da una certa micro-rugosità della superficie stampo.

## AGGANCIO DEI PRODOTTI ATTIVI ALLO STAMPO

In questa sede ci si riferisce all'aggancio del film lubroseparatoro dovuto ad effetti fisici.

Oli, cere, altre frazioni attive hanno propria viscosità ed adesività. Alla temperatura di aggancio essi evidenziano anche fenomeni di capillarità cosicché essi si espandono sulle superfici e tendono a penetrare nella micro-porosità del materiale ed entro lo strato di ossido formato in precedenza dalla vaporizzazione. La penetrazione è facilitata dalla bassa tensione superficiale di questi prodotti.

La micro-rugosità della superficie favorisce e mantiene l'aggancio delle parti attive. Lo strato di ossido amorfo che si era creato è poroso ed anche in questo caso favorisce l'ancoraggio del film.

Nella tabella seguente sono visualizzati schematicamente i vari fenomeni che si manifestano durante la spruzzatura della superficie calda dello stampo.

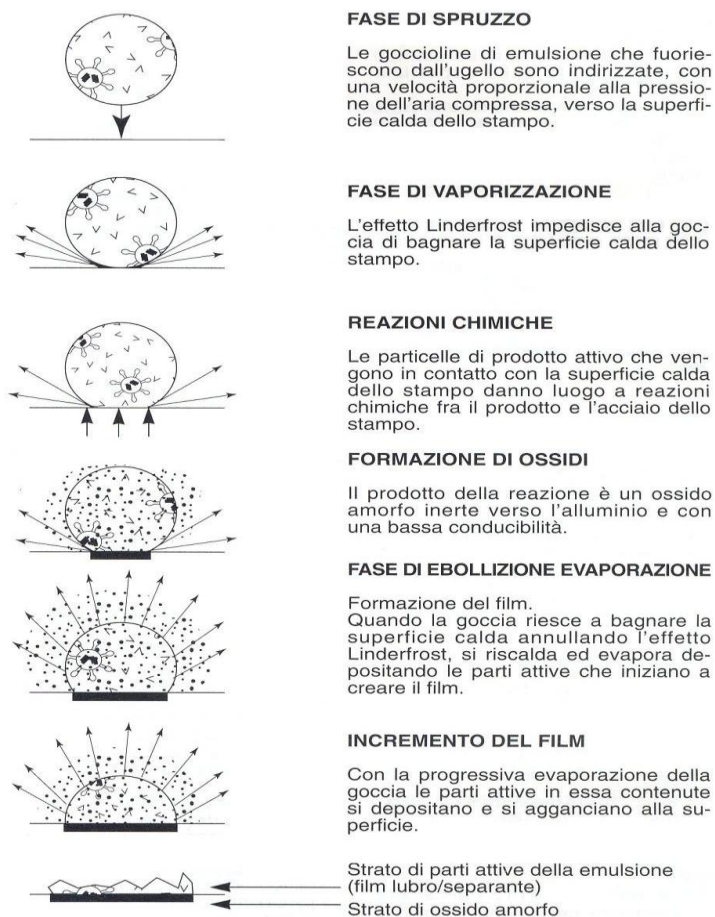


Fig. 8.3 Deposizione e caratteristiche del film

Un aspetto molto interessante da approfondire è quello dell'impatto della goccia. In effetti, la deformazione della goccia incidente la superficie può essere messa in relazione al momentum della stessa nell'impatto (velocità di impatto).

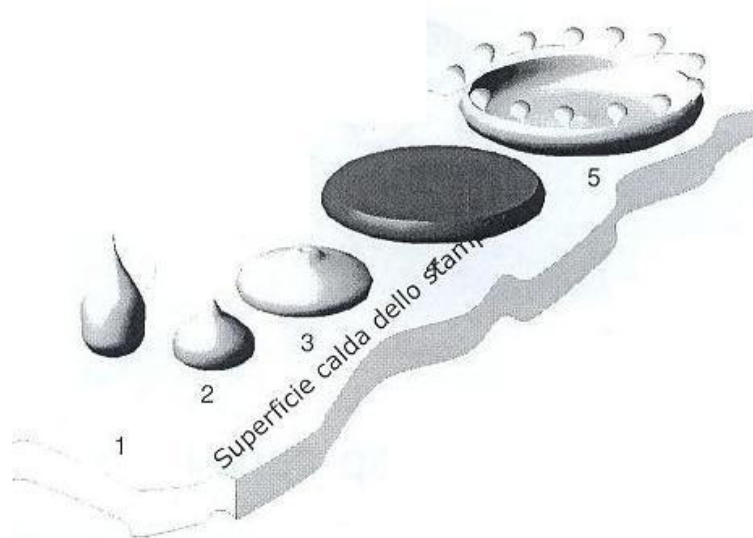


Fig. 8.4 Fisica della formazione del film

Si distinguono in tal senso 5 possibilità:

1. quantità di moto troppo basso, evaporazione senza contatto per via della radiazione di calore;
2. quantità di moto insufficiente, la goccia è già in parte evaporata quando incontra la superficie dello stampo;
3. ancora quantità di moto insufficiente, sebbene una maggiore superficie della goccia entri in contatto con lo stampo;
4. quantità di moto ideale, circa il 50% della superficie della goccia tocca lo stampo consentendo il maggior scambio termico tra lo stampo e la goccia;
5. quantità di moto troppo alto, spruzzatura troppo vigorosa, parte della goccia rimbalza.

Quando la dimensione della goccia è troppo grande non c'è una quantità di moto delle particelle e più dell'85% del lubrificante cade a terra e va nei canali collettori; se invece le gocce sono piccole la perdita non supera il 20%.

Adeguatamente programmati, gli ugelli massimizzano l'efficacia del prodotto applicato che evapora quasi completamente.

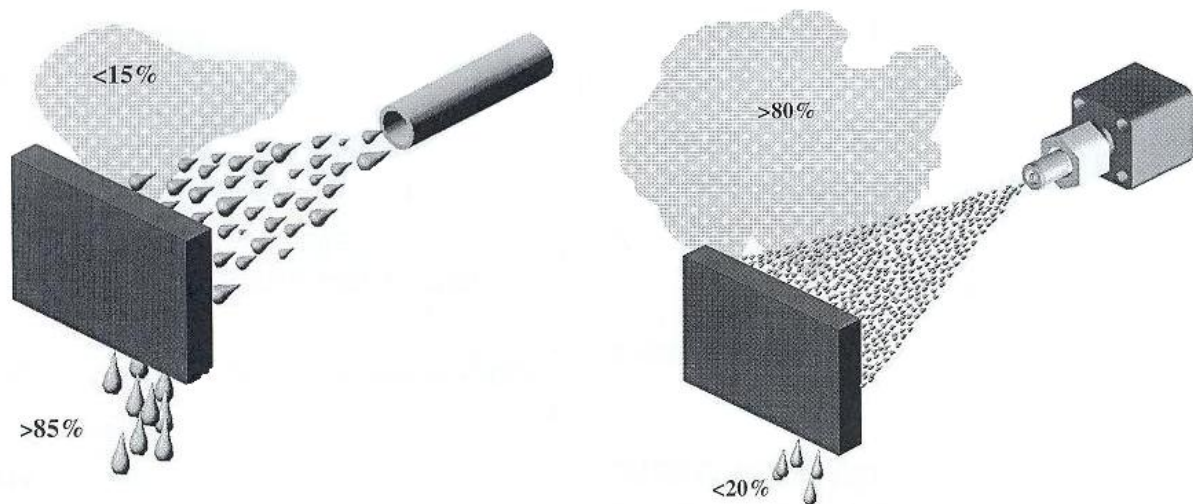


Fig. 8.5 Dispersione di lubrificante in base alla dimensione delle gocce

## 8.4 DEGRADO E DISTRUZIONE DEL FILM

Il film, dopo che si è agganciato per contatto, assume la temperatura della zona dello stampo in cui si trova. Il riscaldamento del film provoca l'asciugatura dello stesso ed inizia il processo di degrado.

Mantenendo per un certo tempo il film a temperatura pari o superiore al suo punto di ebollizione, il film emulsionante si ossida e libera le parti volatili in esso contenute. In queste condizioni gli idrocarburi, che costituiscono la parte preponderante dei componenti dei film, tendono a formare grosse molecole molto viscosi che si trasformano poi in depositi resinosi o asfaltati.

SOSTANZA	PUNTO \ INTERVALLO DI EBOLLIZIONE
Acqua	100°C
Paraffina	170÷190°C
Oli raffinati	200÷230°C
Oli di sintesi	230÷250°C
Siliconi	250÷300°C

Fig. 8.6 Ebollizione di alcune basi lubrificanti

A seconda delle caratteristiche dei componenti del film questi depositi possono essere gommosi o presentarsi sotto forma di lacche.

È stato osservato che gli oli di sintesi hanno minore tendenza a formare depositi in quanto contengono elementi che per un certo tempo fungono da solubilizzanti, rallentando la formazione di grosse molecole che costituiscono i depositi.

Le emulsioni a base siliconica invece non presentano questo inconveniente in quanto i siliconi sono stabili anche ad elevate temperature.

Una volta effettuata l'iniezione nella cavità dello stampo, la lega fusa che la raggiunge ha una temperatura di 650÷700°C. Il film agganciato alle parti dello stampo viene così in contatto

con la lega e viene profondamente alterato dall'elevata temperatura. Il gas generato dai prodotti formati da idrocarburi è principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ). Le molecole di idrocarburi vengono scisse e viene liberato idrogeno.

Il film così decomposto si assottiglia e di esso non rimangono che residui e ceneri: nel frasario corrente di fonderia si dice che il lubrificante brucia. Ciò tuttavia non è del tutto esatto in quanto, affinché avvenga la combustione è necessaria la presenza di  $\text{O}_2$  e quindi di aria. Nel sottile strato di aria che rimane imprigionato tra film e metallo fuso, l' $\text{O}_2$  presente non è disponibile in quanto è immediatamente catturato dall'Al per formare ossido ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

L'idrogeno liberato dalla reazione di scissione delle molecole di idrocarburi è immediatamente assorbito dall'Al, verso il quale ha grande affinità.

Alla fine dell'iniezione, sulle superfici dello stampo in precedenza rivestite dal film non ne rimane che un'esigua frazione. La parte più o meno alterata che rimane con le ceneri residue sullo stampo dipende dai componenti del film, dalla loro quantità e dalla temperatura. Sono questi residui che provvedono alla lubrificazione statica e dinamica necessaria per estrarre il pezzo senza inconvenienti.

### EFFETTO BLACK HOLE

L'effetto buco nero si manifesta quando l'angolo di incidenza tra ugello e superficie dello stampo è  $90^\circ$  e l'angolo di apertura del cono di spruzzo è relativamente stretto.

Esso rappresenta il paradosso per il quale il punto o l'area su cui si concentra di più lo spruzzo dell'ugello è quella in cui resta deposta la minor quantità di film, a causa dell'azione rimuovente del flusso stesso. Pur con gli svantaggi esistono molte ragioni per cui si potrebbe voler condurre una simile lubrificazione, di norma localizzata: prima tra tutte quella legata all'ottenimento di maggior raffreddamento.

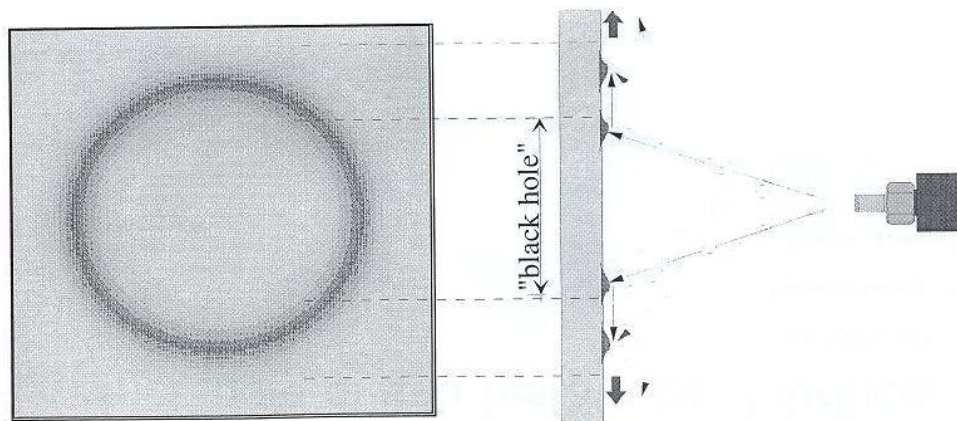


Fig. 8.7 Effetto buco nero

### TURBOLENZA DEI FLUSSI EMULSORI PER UGELLI CONTIGUI

Quando si progetta un ciclo di lubrificazione un aspetto che bisogna tenere in considerazione è che gli ugelli posti sulla testina sono a distanza tale per cui i coni che ognuno produce tendono ad interagire.

Questa interazione determina una distribuzione di velocità del flusso sulla figura secondo una configurazione a maglie, dove i vuoti sono i centri dei coni ed i percorsi delle maglie le zone turbolente. D'altro canto su queste zone tende a realizzarsi mediante un film di spessore superiore alla media.



L'influenza della accelerazione di gravità sull'efflusso è quasi nulla per via della preponderanza della pressione di uscita rispetto alla breve distanza dalle impronte e poiché l'aria calda a contatto con lo stampo tende a creare una corrente di ricircolo verso l'alto.

Il lubrificante in deposizione può comunque modificare la propria disposizione in base alle geometrie dei particolari in figura.

#### AZIONE USURANTE DELLO SCORRIMENTO DI LEGA SUL FILM

Quando la lega entra nella cavità sollecita le pareti interne in maniera molto variabile e pertanto ha una capacità di rimozione del film parimenti variabile. Di solito i punti dove il lubrificante è più vulnerabile è nelle zone basse della figura, nelle aree in cui le traiettorie di scorrimento subiscono le modifiche più brusche picchiando con maggior violenza contro le pareti.

Questo problema produce spesso con conseguenza la presenza di difettosità localizzate sul getto, per risolvere le quali si ricorre di norma a lubrificazioni localizzate molto intense, in modo da abbassare fortemente la temperatura ed ottenere così una minore interazione tra i metalli. Il problema di questa modalità è tuttavia l'incidenza dell'effetto black hole e l'aumento localizzato del gradiente termico, aumentando così il rischio di solidificazioni precoci.

### **8.5 ASCIUGATURA DEL LUBRIFICANTE ED EVACUAZIONE DELL'ARIA**

Subito dopo la spruzzatura e prima che la lega venga iniettata nelle cavità, il ciclo di lubrificazione prevede l'asciugatura degli stampi.

L'asciugatura è un'operazione di soffiatura mediante aria compressa a temperatura ambiente, realizzata attraverso un apposito circuito collocato sulla testa di lubrificazione e movimentato allo stesso modo dei circuiti di spruzzatura; l'aria viene indirizzata mediante delle strutture tubolari dette cannette di asciugatura, tipicamente orientate dall'alto verso il basso secondo una logica di rimozione solidale alla gravità.

Questa operazione si rende necessaria in quanto dopo la spruzzatura le impronte restano normalmente umide o bagnate ed occorre eliminare queste frazioni in quanto possono essere dannose<sup>19</sup>.

L'aria esercita sulle gocce di lubrificante un'azione rimovente meccanica e di sollecitazione all'evaporazione a causa delle correnti che si formano presso le impronte umide.

L'utilità dell'asciugatura si riassume nei seguenti punti:

- se la lega fusa incontrasse all'interno delle impronte parti di liquido, esse potrebbero evaporare così velocemente da realizzare delle esplosioni;
- le zone dove il lubrificante non viene asciugato bene, rimanendo umide, tendono a presentare difettosità di varia natura, prime tra tutte delle antiestetiche macchie scure a causa delle quali il getto viene considerato scarto;
- con l'asciugatura possono essere rimosse dalla superficie degli stampi eventuali impurità solide o pellicole di Al metallizzato o spruzzato, che determinerebbero difetti

---

<sup>19</sup> Per assurdo, se la spruzzatura venisse progettata e realizzata perfettamente, non occorrerebbe asciugare.

sul getto (visivi o rilevabili al controllo radiografico) o addirittura mancata chiusura della macchina.

Il ciclo di asciugatura è ovviamente legato nei tempi e nei modi a quello di spruzzatura, eventualmente tenendo presente che la geometria della stampo e l'influenza della gravità tendono a modificare la disposizione superficiale delle gocce e a creare zone di accumulo.

Asciugature insufficienti possono determinare i problemi sopra esposti; in caso contrario invece non si segnalano particolari problemi processuali, senza contare però il non trascurabile inconveniente dell'allungamento del tempo ciclo.

L'espulsione dell'aria dalle impronte nella fase di iniezione è un fenomeno legato alla repentina immissione della lega nelle cavità. A causa di questa operazione si crea un moto efflussorio dell'aria molto turbolento il quale tende ad inglobare parte delle goccioline di lubrificante ancora presenti, che si staccano per via della perturbazione e vengono condotte nei punti di sfogo o nei pozzetti, se essi sono stati ben progettati, o comunque negli ultimi punti raggiunti dalla lega.

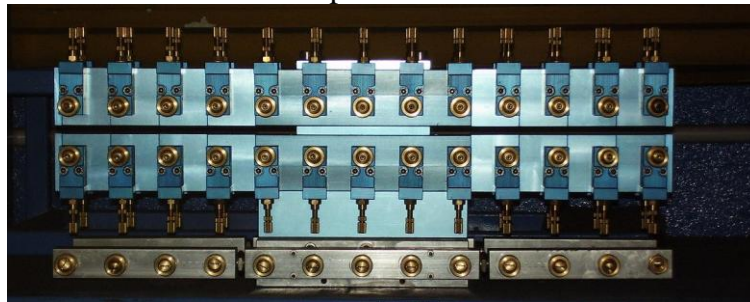
Nel bilancio di materia relativo al lubrificante quindi si deve tener conto anche di questo fenomeno.

Altro aspetto di cui già si accennava nei paragrafi precedenti è la liberazione di gas e vapori dal film per contatto con la lega, a causa dell'elevata temperatura.

Il cuscinetto d'aria così formatosi viene a costituire una sorta di lubrificante aeriforme, il quale però tende ad essere assorbito dalla lega stessa, inquinandola ed aumentando così la sua porosità.

## 8.6 SISTEMI DI LUBRIFICAZIONE AUTOMATICI

Per realizzare la spruzzatura (detta anche lubrificazione in senso stretto) si ricorre solitamente a delle teste o testine lubrificanti; è stata abbandonata la possibilità di lubrificare a mano che rimane solo in caso di particolari esigenze o forme del pezzo, oppure laddove non sia presente un'attrezzatura automatica utilizzando una pistola.



*Fig. 8.8 Testina lubrificante*

La spruzzatura automatica rappresenta la tecnica di lubrificazione più adottata in pressofusione.

I vantaggi della spruzzatura automatica infatti sono:

- qualità costante del getto;
- riduzione al minimo della percentuale degli scarti;
- riproducibilità del ciclo;
- aumento della produzione oraria (stampate/ora) ed elevata velocità di funzionamento;
- migliore rendimento ed utilizzo dei tempi macchina;



- maggiore durata degli stampi;
- riduzione dei tempi morti e della dipendenza dalle assenze del personale;
- possibilità di orientare in modo universale gli ugelli;
- velocità e pressione elevate, soprattutto nel caso di lubrificanti a base acqua;
- sistema di lubrificazione universale, adatto ad utilizzare tutti i tipi di fluido reperibili in commercio;
- peso ed ingombro ridotto dell'apparecchiatura.

Le testine lubrificanti sono essenzialmente delle piastre, mosse da robot a più assi, che emettono un flusso di lubrificante sulle zone interessate; in seguito vedremo che esistono anche delle versioni antropomorfe, che tendono ad adattarsi meglio alla figura.

Le testine possono essere flessibili o dedicate, a seconda che presentino una configurazione standard o adattata alla geometria dello stampo. Sulle facce orientate verso gli stampi si trovano una serie di ugelli, dai quali esce l'emulsione e l'aria che si mescolano nella prima parte dell'ugello.

Una testa complessa è composta dalle seguenti unità:

- Attacco braccio lubrificatore;
- Blocco controllo pneumatico;
- Blocco base spruzzatori;
- Segmenti aggiuntivi;
- Tubi di estensione con ugello terminale;
- Ugelli spruzzatori;
- Raccordi di prolungamento regolabili;
- Soffietti per aria in pressione;
- Tubi di estensione.

Gli ugelli sono diversificati tra loro in base alla sostanza che emettono (lubrificante per lubrificare o aria per pulire o asciugare), alla tecnica di emissione (a getto o nebulizzante), alla portata, all'estensione del cono di spruzzatura e alla concentrazione dei lubrificanti.

Essi sono costituiti da un corpo in acciaio collegato a 3 circuiti:

- circuito dell'acqua;
- circuito del lubrificante;
- circuito dell'aria (pilotaggio).

Il circuito dell'aria funge sia da polverizzante che da vero e proprio interruttore, in quanto direttamente collegato ad una valvola pneumatica composta da una membrana ed un maschio o spillo di valvola. In uscita l'ugello presenta due tubi coassiali che conducono al posatore, ovvero un beccuccio nebulizzante fissato al corpo mediante un apposito dado.

Le ultime evoluzioni prevedono l'utilizzo di robot antropomorfi dotati di pistola porta-ugelli, che uniscono la velocità di esecuzione del dispositivo automatico all'accuratezza e precisione dell'esecuzione manuale. Un contributo notevole è la maggior flessibilità di questi robot, grazie alla quale è possibile passare da un ciclo di lavorazione ad un altro mediante la semplice sostituzione del programma che gestisce i comportamenti dello stesso; con tali mezzi è possibile abbassare ulteriormente il tempo ciclo e quindi giustificare il maggior costo.

## 8.6.1 SELEZIONE DI UN IMPIANTO DI LUBRIFICAZIONE

La gestione della termica dello stampo e la lubrificazione della figura occupano una porzione importante del ciclo produttivo di una macchina di pressocolata.

Gli impianti di lubrificazione possono essere:

- Lineari;
- Su robot antropomorfi.

TIPOLOGIA	VANTAGGI	SVANTAGGI
Lineare	Velocità di movimentazione lineare	Tempi di attrezzamento delle testate su stampi complessi relativamente lunghi
	Semplicità d'uso	Minor flessibilità
	Gestione economica	
	Ideale per stampi di lunga produzione	
Robot Antropomorfi	Tempo di attrezzamento contenuto	Talvolta cicli di lavoro prolungati
	Compattezza dell'impianto rispetto al lineare, specie su macchine di grosse dimensioni	Necessaria conoscenza programmazione di base dei robot
	Flessibilità di movimentazione	
	Rapidità di cambio produzione, per cambi stampo frequenti	
	Getti di migliore qualità	

*Fig. 8.9 Comparazione delle tipologie di impianto*

Gli impianti lineari possono essere ad uno o più assi. Quelli ad un asse sono montati sulle cappe di aspirazione e sono adottati per macchine di piccole dimensioni. Gli impianti a due assi invece si impiegano per macchine più grandi e che presentino geometrie più complesse, oltre ad eventuali carrelli ed inserti sulla figura. Il caso a tre assi è più raro e descrive una struttura a portale.

I robot antropomorfi possono essere dedicati oppure impiegati anche per l'estrazione. Quest'ultimo caso è quello più abordabile sotto tutti i punti di vista ma va bene solo per macchine non troppo grandi e stampi semplici, che implicino movimentazioni minime. Quando questo non è possibile si ricorre a robot dedicati, di solito montati sul piano macchina o a terra.

## 8.7 MATERIALI PER LA LUBRIFICAZIONE

Anche disponendo di una macchina a tecnologia avanzata e di uno stampo progettato e costruito in modo ineccepibile, non è possibile ottenere buoni pezzi ed alta cadenza di produzione senza un'adeguata lubrificazione delle impronte.

La quantità, il tipo di prodotto, la sua distribuzione sulla figura dello stampo sono fattori molto importanti che spesso non vengono considerati nella giusta misura. Difetti sui pezzi,

qualità scadenti, bassa produttività, rotture di spine, fermi di produzione, metallizzazione, sono spesso determinati da inadeguata lubrificazione delle impronte.

Prodotti lubrificanti e strumenti tecnicamente avanzati non rappresentano più un fattore ausiliario ma un componente essenziale del processo per ottenere le massime prestazioni ed il miglior rendimento.

I lubrificanti nel corso degli anni sono cambiati, passando da miscele di oli, petroli, benzine e gasoli, altamente inquinanti e nocivi, a prodotti sintetici più evoluti. Tali prodotti, a base di idrocarburi, oli organici, grafite, ossidi di Al, grassi, siliconi e cere, rispondono alle seguenti caratteristiche:

- Incolumità e non tossicità per le persone;
- Rispondenza alle necessità di fonderia;
- Salvaguardia dell'ambiente.

I fluidi per la lubrificazione possono essere classificati in:

- Fluidi ad alta densità (grafite emulsionata, oli pesanti);
- Fluidi a media densità (siliconi, oli leggeri);
- Fluidi a bassa densità (emulsioni a base acquosa).

I prodotti pesanti (a media o alta densità) possiedono un gradiente termico più elevato, quindi trasferiscono più calore, tuttavia non possiedono mai le buone proprietà elencate in letteratura. I lubrificanti attualmente utilizzati possono essere distinti in diverse categorie in funzione dei loro componenti quantitativamente predominanti. Essi risultano dalla combinazione di molteplici componenti scelti tra: idrocarburi (olio minerale, olio sintetico), oli organici (olio animale, olio vegetale), siliconi (silossani, polisilossani), cere (cera minerale, cera carnauba, cera sintetica), polimeri vari e stearine.

Ad essi vengono aggiunti, secondo necessità, alcuni additivi. In particolare:

- Inibitori (di ossidazione, corrosione, schiume, flore batteriche);
- Fattori (di adesività, capillarità, untuosità).

In talune formulazioni (che però attualmente sono quasi del tutto abbandonate) alle miscele dei prodotti sopra citate sono aggiunte cariche o pigmenti come grafite, talco, polvere di mica, polvere di Al ed ossidi coloranti, in quantità tali da poter emulsionare con acqua le miscele stesse.

I prodotti più frequentemente impiegati sono comunque:

- idrocarburi (olio paraffinico a catena lunga, olio naftenico di sintesi e olio aromatico di sintesi). Gli oli di sintesi vengono utilizzati per correggere le variazioni di viscosità a caldo e la tendenza alla formazione di macromolecole; queste sono responsabili della formazione di depositi gommosi o asfaltici sugli stampi.
- cere (paraffine minerali e di sintesi). Esse vengono utilizzate a rinforzo del contenuto paraffinico degli oli.
- composti siliconici (oli e polisilossati), impiegati per elevare le prestazioni alle alte temperature;
- additivi, per l'ottenimento delle caratteristiche e delle prestazioni particolari richieste dallo specifico impiego.

Normalmente, allo stato della commercializzazione la sostanza attiva è già pre-emulsionata con acqua in un rapporto che va dal 10÷40% di concentrato. Il prodotto così acquistato viene successivamente diluito fino a raggiungere percentuali dell'1÷3%, riducendo la sostanza attiva a limiti "omeopatici". Nella loro diluizione viene non di rado raccomandato di usare acqua deionizzata o addolcita in quanto le molecole dei sali non disciolte possono creare dei nuclei di condensazione o flocculazione, rompere l'equilibrio chimico ed inoltre sedimentare sullo stampo.

Le variabili che influenzano le prestazioni sono:

- caratteristiche intrinseche del film lubrodistaccante;
- diluizione finale d'impiego;
- caratteristiche dell'acqua impiegata per la diluizione;
- quantità di prodotto diluito erogato sullo stampo e modalità di applicazione;
- contaminazione batterica presente nella acqua industriale impiegata.

Le caratteristiche fisico-chimiche risultanti dalle miscele dei componenti dopo l'evaporazione dell'acqua, rispetto alle quali se ne definisce la bontà, sono:

- quantità del residuo;
- pH del residuo;
- punto di ebollizione;
- punto di infiammabilità;
- punto di accensione spontanea;
- viscosità del residuo alle temperature di 200°C e 350°C;
- quantità del residuo dopo combustione.

Le caratteristiche delle miscele emulsionate con H<sub>2</sub>O sono:

- densità a 20°C;
- tensione di vapore;
- viscosità a 20°C;
- pH a 10g / l H<sub>2</sub>O.

Le composizioni sono accuratamente formulate perché diano luogo a miscele che siano:

- compatibili;
- prontamente emulsionabili;
- facilmente diluibili con acqua potabile;
- stabili nel tempo a temperature superiori di 0°C.

### 8.7.1 LUBRIFICANTI IN POLVERE

Esistono anche delle forme di lubrificanti in polvere, attualmente in prova ma non ancora utilizzati in produzione. L'applicazione di tale prodotto può essere eseguita in due diverse maniere:

- attraverso l'immissione di 3÷4g di prodotto nel contenitore, nel quale vaporizza a causa dell'alta temperatura ed, entrando nella cavità dello stampo, va a ricoprire tutti gli angoli della forma;

- attraverso l'utilizzo di una testina lubrificante che entra tra le matrici dello stampo e polverizza il prodotto lubrificante fino a ricoprire tutte le cavità dello stampo, mediante una turbina che gira a circa 3000 giri/min.

I vantaggi di quest'ultimo prodotto sono essenzialmente:

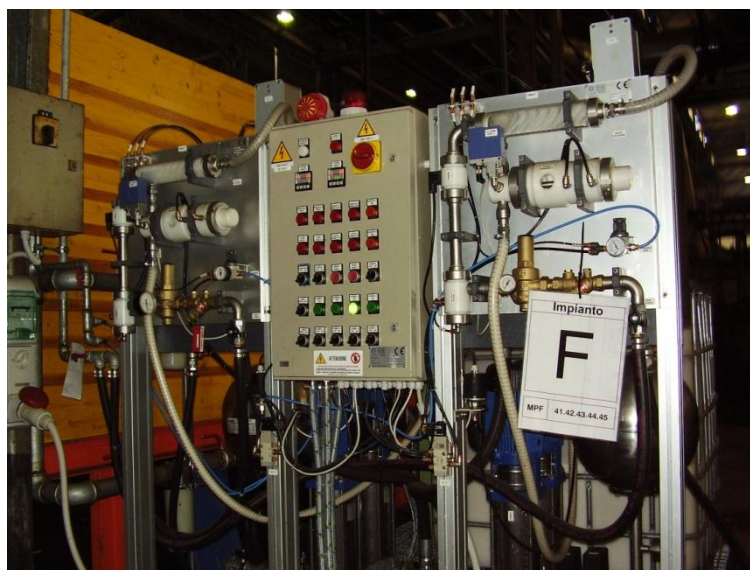
- riduzione tempo ciclo;
- omogeneità;
- ripetibilità;
- produttività.

Gli svantaggi invece risiedono nel fatto che la qualità definita in sperimentazione è inferiore a quella di normale utilizzo ed inferiore rispetto a quella dei lubrificanti misti, poiché i getti si presentano più porosi a causa della non completa decomposizione dei lubrificanti in polvere.

## 8.8 SERBATOI ED IMPIANTI DI MISCELAZIONE

I serbatoi per il lubrificante sono recipienti plastici chiusi carrellabili ove viene ospitato il lubrificante concentrato (pre-diluito al 20÷40% in principio attivo). Un sistema di aspirazione preleva la quantità predeterminata di prodotto e lo conduce presso un impianto di miscelazione ad impulsi, connesso alla rete idrica<sup>20</sup>.

L'impianto realizza la miscelazione delle due sostanze in un'apposita vasca secondo le percentuali di principio attivo volute (di solito 1÷3%), ottenendo il lubrificante pronto per l'uso; quindi una seconda pompa pneumatica lo immette nel circuito di alimentazione della testina.



*Fig. 8.10 Impianto di miscelazione*

L'ordine di grandezza della pressione all'ugello lubrificante è di circa 6÷10 atm.

Alcuni fluidi lubrificanti poco solubili in acqua, subiscono un vigoroso rimescolamento sotto l'azione della pressione, per cui tendono a schiumeggiare.

Considerando la deriva fisiologica dell'impianto di miscelazione e la criticità della percentuale di principio attivo nel lubrificante, si rende spesso opportuno il monitoraggio della composizione del lubrificante miscelato a valle dell'impianto. A questo scopo si effettuano periodicamente dei controlli chimici su campioni di prodotto mediante strumenti tra i quali il torbidimetro, che analizza la percentuale di diluizione del lubrificante sfruttando il legame di questo parametro con la trasparenza della soluzione.

Un altro aspetto da curare con attenzione è la carica batterica del prodotto nei serbatoi, aspetto molto negativo ai fini dell'efficienza del lubrificante. Per scongiurarlo è necessario rispettare alcune regole manutentive:

- ridurre il più possibile il contatto del lubrificante con l'atmosfera mediante la chiusura ermetica dei serbatoi;

---

<sup>20</sup> La connessione alla rete idrica sottintende che il lubrificante sia a base acquosa. Questa scelta è la più comune in pressofusione, tuttavia non si escludono altre soluzioni come le basi oleose, cerose o silconiche.

- controllare visivamente che non vi siano nel serbatoio depositi melmosi e gommosi, segno della degenerazione batterica, e nel caso ve ne siano preoccuparsi di rimuoverli;
- evitare di esporre il contenitore alla luce solare ed a fonti di calore;
- disciogliere nella soluzione additivi antibatterici ed antiprecipitanti.

## 8.9 POLVERIZZAZIONE DELLE EMULSIONI

Per trasformare le emulsioni in minuscole goccioline occorre polverizzarle. Il metodo di polverizzazione più idoneo è costituito dall'impiego di aria compressa.

Secondo il principio di conservazione dell'energia<sup>21</sup> e trascurando gli attriti avremo che:

$$p * v = \text{cost}$$

Su questo principio è basato il tubo di Venturi, che è lo strumento che permette di polverizzare le emulsioni: la polverizzazione viene effettuata facendo affluire (per aspirazione o mandata in pressione) le emulsioni nel punto in cui si crea la depressione, punto che corrisponde alla strozzatura del tubo, all'incirca all'uscita dell'eiettore.

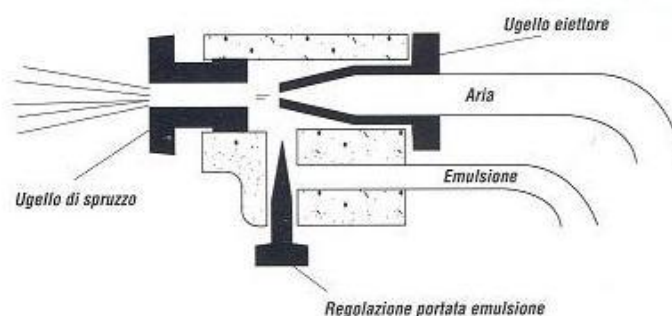


Fig. 8.11 Applicazione del tubo di Venturi alla lubrificazione

Il liquido fatto affluire in questo punto viene in contatto con un getto d'aria a forte velocità che lo fraziona in minute goccioline, le quali sono trascinate dal flusso di aria verso l'uscita (efflusso).

A seconda che il liquido venga in contatto con l'aria all'interno della testa di polverizzazione o all'uscita si parla di sistemi di polverizzazione interna o esterna. I due sistemi differiscono per la finezza della polverizzazione: mentre i dispositivi a polverizzazione interna infatti producono un frazionamento delle goccioline medio-fine, i dispositivi a polverizzazione esterna si spingono ad un livello fine-finissimo se non ad una nebulizzazione vera e propria<sup>22</sup>. Se si assume che il grado di polverizzazione dei due sistemi sia uguale in prossimità dell'eiettore, la dimensione delle goccioline resterà tale nei dispositivi di polverizzazione esterna, mentre nel caso della polverizzazione interna le goccioline dovranno fare, sospese nel flusso d'aria, un percorso più lungo e tortuoso prima di raggiungere il punto di efflusso. Durante questo percorso le goccioline hanno maggiore possibilità di urtarsi fra loro e di coalescere in una goccia più grossa, peraltro tanto più facilmente quanto minore è la tensione

<sup>21</sup> L'energia non si crea né si distrugge ma si trasforma.

<sup>22</sup> Va detto comunque che il grado di polverizzazione dipende anche largamente dalla struttura del dispositivo, dalla pressione dell'aria e dalle rispettive portate dell'aria e del liquido.

superficiale delle emulsioni: pertanto all'efflusso si riscontrano goccioline di maggiori dimensioni insieme a goccioline della dimensione originaria.

Sulla scorta di quanto detto risulta evidente che il grado di polverizzazione di un sistema interno è largamente influenzato dalla lunghezza e tortuosità del percorso verso la zona di efflusso. Si osserva infatti che nel caso siano adottate prolunghe per indirizzare o avvicinare lo spruzzo allo stampo, la polverizzazione dell'emulsione all'uscita di queste prolunghe è più grossolana.

## GRADO DI POLVERIZZAZIONE

Ai fini della formazione del film lubrificante e separante la dimensione delle goccioline gioca un ruolo importante: per la formazione ottimale del film le goccioline che raggiungono la superficie dello stampo dovrebbero avere un'energia tale da farle appiattire sulle superfici stesse.

La grandezza delle goccioline è una delle componenti della carica energetica dello spruzzo in relazione alla loro massa.

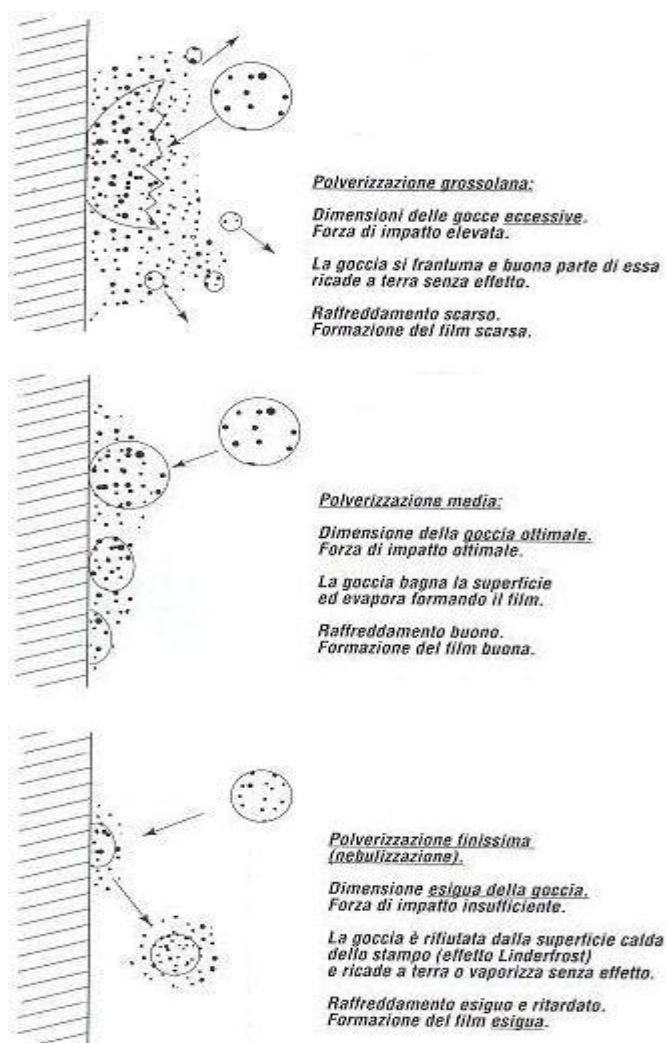


Fig. 8.12 Impatto delle gocce sulla superficie in relazione alle loro dimensioni



Una polverizzazione grossolana dell'emulsione produce gocce di elevata grandezza, che possono determinare una forza di impatto troppo elevata e tale da farle rimbalzare, senza effetto per la formazione del film. Analogamente, polverizzazioni fini o molto fini producono goccioline di dimensioni molto piccole che possono determinare una bassa forza di impatto. In tal caso la vaporizzazione (effetto Leidenfrost) impedisce che si crei lo stato di vapore e che esse bagnino la superficie calda dello stampo: in pratica scorrono via senza effetto.

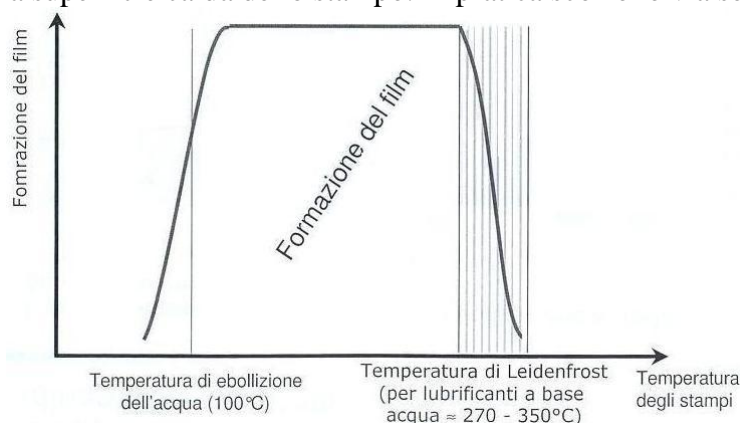


Fig. 8.13 Effetto Leidenfrost

La dimensione delle goccioline deve quindi essere la più adatta in relazione alla temperatura dello stampo, oltre che ovviamente alla distanza che intercorre tra l'ugello e la superficie dello stesso. L'alta velocità posseduta dai fluidi in uscita infatti viene immediatamente smorzata dalla resistenza offerta dall'aria ambiente.

#### DURATA DI IRRORAZIONE DELLE SUPERFICI

Agli effetti della formazione del film lubroseparante la durata dell'irrorazione delle superfici dello stampo deve essere limitata. Infatti qualora con la spruzzatura la temperatura della superficie della cavità dello stampo dovesse scendere al di sotto della temperatura di ebollizione delle goccioline di emulsione successive, queste potrebbero dissolvere o spostare in tutto o in parte il film già formato per effetto del risciacquo della superficie investita dal getto.

Esperienze condotte hanno dimostrato che i tempi ottimali di formazione del film lubroseparante su superfici a temperatura di 200÷250°C sono nell'ordine di 2÷4 secondi.

I tempi di formazione del film sono comunque determinati dal tempo necessario prima che la superficie venga bagnata e pertanto soggetti alle caratteristiche del prodotto impiegato e alle caratteristiche dello spruzzo.

### 8.10 TECNICHE DI SPRUZZATURA

I parametri che caratterizzano lo spruzzo sono:

- portata d'aria di spruzzo;
- portata dell'emulsione;
- pressione dell'aria;
- pressione dell'emulsione;
- grado di polverizzazione;

- distanza di spruzzatura.

Le quantità irrorate sullo stampo da parte degli ugelli sono pari al prodotto delle portate per il tempo di spruzzatura. Il tempo totale del ciclo di spruzzatura è dato dalla sommatoria dei tempi delle singole fasi che comprendono ovviamente i tempi dei movimenti relativi alla testa di spruzzatura.

Il ciclo ottimale è quello che con la minore quantità di prodotto e nel tempo più breve riesce a portare lo stampo nelle condizioni di ricevere la successiva iniezione.

I tempi dei cicli di spruzzatura non sono parametri indipendenti o impostabili a piacimento ma dipendono dalle esigenze dello stampo. I tempi di esercizio complessivi della lubrificazione sono variabili a seconda delle caratteristiche del processo; recenti statistiche comunque sostengono come il tempo ottimale del ciclo di una operazione di spruzzatura automatica si attesti comunemente sul 20% del tempo totale.

### 8.10.1 CARATTERISTICHE DELLO SPRUZZO

Lo spruzzo che esce dai dispositivi di lubrificazione degli stampi è caratterizzato da vari fattori geometrici.

La conformazione e il disegno dell'ugello determinano la forma dello spruzzo (Fig. 8.12):

- da un ugello il cui condotto di efflusso è un foro (Fig. 8.12 a) , lo spruzzo da questi generato ha sempre forma di un cono il cui vertice presenta un angolo più o meno acuto;
- da un ugello costituito da un tubo schiacciato all'estremità (Fig. 8.12 c) lo spruzzo generato ha la forma di un ventaglio conico ellissoidale.

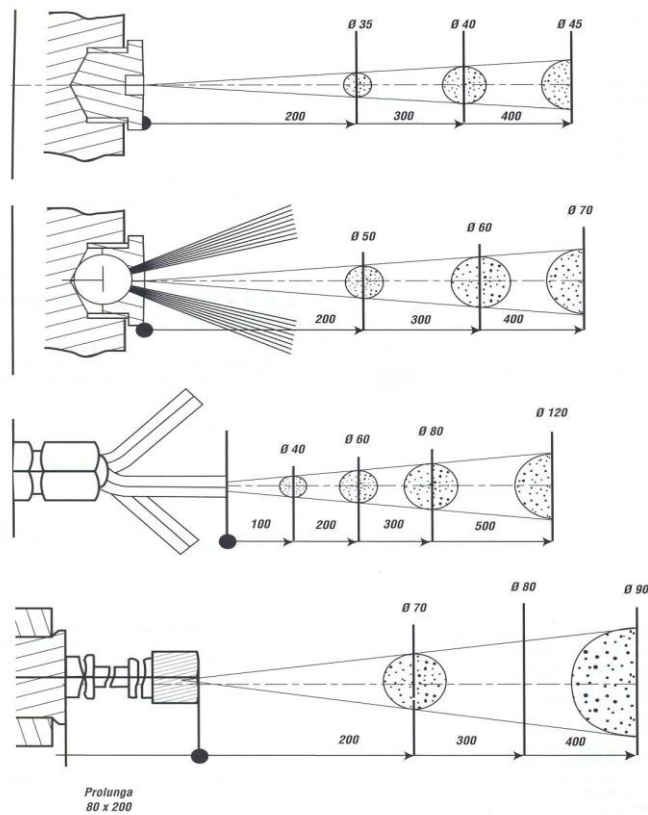


Fig. 8.14 Angoli di spruzzatura

La figura 8.12 è in grado di interessare una superficie via via crescente man mano che aumenta la distanza tra la superficie dello stampo e l'ugello; a pari distanza la superficie interessata può essere maggiore o minore a seconda dell'entità dell'angolo al vertice del cono. Un'altra caratteristica dello spruzzo è la forza, la quale è influenzata dalla velocità dell'efflusso, dal grado di polverizzazione, dalla distanza tra stampo ed ugello e dallo stesso angolo del cono incidente nella maniera qui presentata:

ANGOLO	FORZA
10°	Spruzzo duro penetrante
15°	Spruzzo di media durezza
20°	Spruzzo morbido

Fig. 8.13 Angolazione dei coni di spruzzatura

Le modalità di applicazione del lubrificante su stampi da pressocolata seguono regole ben definite:

- Distanza degli ugelli allo stampo: 100÷200 mm;
- Pressione dell'aria: 5÷6 atm;
- Pressione dell'emulsione: circa 4 atm;
- Tempi di durata della spruzzatura: in funzione del prodotto e della cadenza produttiva;
- Angolo non definito a priori ma in rapporta alla geometria del getto finale;

## 8.10.2 APPARECCHIATURE PER LA SPRUZZATURA AUTOMATICA

Le teste di spruzzo di nuova concezione realizzano la polverizzazione all'esterno presso gli ugelli, che possono essere 200÷300 nelle apparecchiature per grosse macchine di pressofusione. La polverizzazione è dunque di tipo fine, essendo minore il percorso della miscela verso l'afflusso ed inoltre permette di controllare per ogni singolo ugello il rapporto emulsione/aria, essendo la portata di questa regolabile mediante l'apertura e la chiusura dello spillo di immissione dell'emulsione.



*Fig. 8.15 Testina dedicata in fase di manutenzione*

Essendo piccoli i passaggi dell'emulsione in ogni singolo ugello può accadere che le testine si intasino ma d'altro canto risulta praticamente eliminato l'inconveniente per il quale l'emulsione polverizzata continua a fuoriuscire dopo la chiusura dello spillo di comando dell'aria, cosa che accadeva con la polverizzazione centralizzata in quanto occorreva tener conto anche dei tempi di svuotamento dei circuiti della testa fino agli ugelli.

Il problema dell'intasamento è dovuto ai seguenti fattori:

- diametro del foro degli ugelli relativamente piccolo;
- effetto raffreddante, dato dall'espansione dell'aria che aumenta con la viscosità dell'emulsione.

In effetti, emulsione di acqua e prodotti oleosi costituiscono miscele instabili. Fenomeni di ossidazione o di abbassamento della temperatura provocano la rottura dell'emulsione e la scissione dei suoi componenti. Il meccanismo di ostruzione degli ugelli dello spruzzatore è dovuto ai fenomeni sopra accennati.

Nell'ugello esistono le condizioni per l'ossidazione ed il raffreddamento dell'emulsione a causa dell'aria di polverizzazione. Essa, espandendosi, crea un intenso raffreddamento nel corpo dell'ugello.

Il raffreddamento può favorire il deposito nel foro di alcuni componenti della parte attiva dell'emulsione, come le frazioni cerosi ed altre parti consimili.

I depositi nel foro diminuiscono la portata dell'ugello e possono progressivamente ostruirlo. Grumi di prodotto attivo che si formano nei circuiti o nelle teste di spruzzo possono ostruire totalmente ed istantaneamente il foro dell'ugello.

Verificandosi questi inconvenienti le modalità e le quantità del fluido spruzzato possono essere alterate e creare difficoltà come attaccature e problemi di espulsione dei getti.

Per ovviare all'inconveniente in alcune apparecchiature si è adottato un accorgimento che consiste nell'immettere aria nei condotti dell'emulsione alla fine dell'erogazione. L'aria, trovandosi a pressione più elevata dell'emulsione e uscendo a forte velocità dai fori, esercita un'auto-pulizia dei fori stessi ovviando all'inconveniente.

Questo accorgimento comporta tuttavia il fatto che tutti i condotti dell'emulsione sono svuotati ad ogni ciclo del loro contenuto e quindi l'erogazione di emulsione non sarà istantaneamente interrotta al richiudersi della valvola di adduzione ma continuerà fino allo svuotamento completo del circuito susseguente valvola.

Inoltre, essendo lo scopo quello di rimuovere l'eventuale particolato dai circuiti, è possibile che poi esso finisca sugli stampi aumentando il rischio che le deposizioni solide su di essi conducano a difettosità; l'asciugatura pertanto dovrebbe essere in questo caso leggermente più intensa.

Nel caso di stampi dalle superfici estese o complesse o con punti surriscaldati si prolunga il tempo di lubrificazione.

La lubrificazione automatica con più ugelli, rispetto a quella manuale, consente di applicare il lubrificante nello stesso tempo su più punti della superficie dello stampo: quanto più grandi sono le macchine e gli stampi, tanto maggiore diventa il vantaggio di tempo d'applicazione automatico.

## **8.11 REALIZZAZIONE DEI CICLI DI LUBRIFICAZIONE**

Esercitare la lubrificazione correttamente implica minimizzare il consumo di emulsioni con un massimo di produzione dei getti.

Il prodotto emulsionato che si raccoglie ai piedi della macchina rappresenta il consumo superfluo, a cui si accompagna un aumento dei costi e l'inquinamento dell'ambiente. Le emulsioni, se non vengono impiegate per il raffreddamento, possono essere spruzzate in modo molto contenuto con un getto leggero o semipenetrante e con una nebulizzazione molto fine.

A seconda della figura dello stampo lo spruzzo può essere diretto sull'intera superficie o su determinati punti. I lubrificanti infatti vengono utilizzati in quantità più elevata in zone soggette ad alte punte termiche (maschi e parti figura surriscaldate) o in parti figura profonde o complesse, o su anime metalliche scorrevoli. I prodotti solubili in acqua hanno un'azione raffreddante significativa su determinate parti dello stampo, soprattutto sui risalti e le spine.

Il raffreddamento della superficie viene tuttavia ostacolato dalla formazione di vapore, poiché la temperatura dello stampo si trova molto al di sopra del punto di evaporazione dell'acqua. Per superare questa barriera di vapore è necessaria un'energia più alta del getto. Le goccioline che sono proiettate ad alta velocità non devono essere troppo grandi, altrimenti rimbalzerebbero e la loro azione di raffreddamento sarebbe minima.

Cambiando l'angolo di spruzzo durante il movimento vengono raggiunte anche parti dello stampo difficilmente raggiungibili.

La capacità ridotta di penetrazione dei lubroseparatori solubili in acqua richiede lo spruzzo diretto di tutte le zone critiche.

Nella figura seguente è presentato un diagramma di lubrificazione delle anime per una macchina Buhler:

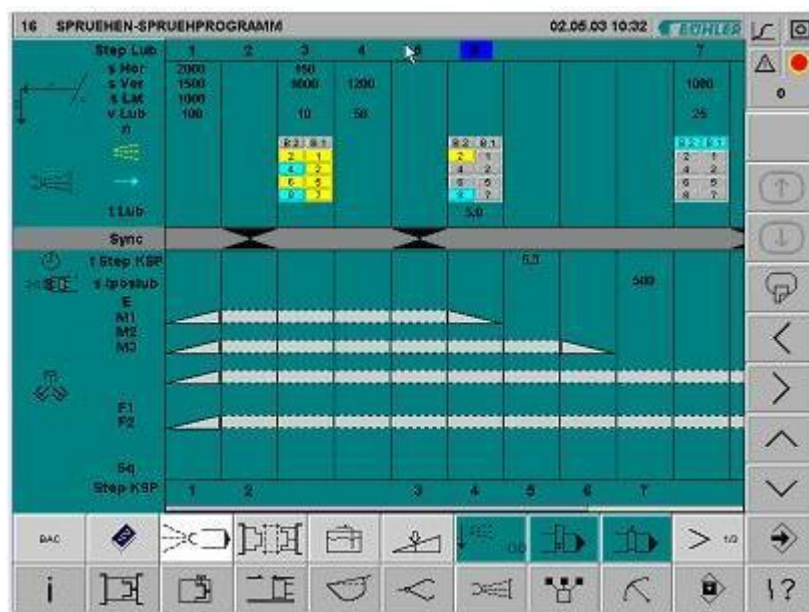


Fig. 8.16 Programmazione della lubrificazione delle anime

Come si può notare ogni anima possiede una propria specifica di lubrificazione (righe orizzontali). Un programma di lubrificazione non utilizza necessariamente tutti gli ugelli ma se ne studia l'impiego passata per passata.

Il numero ed il posizionamento degli ugelli di spruzzo comunque dovrebbero essere tali per cui ogni figura dello stampo o zona di grossi stampi siano spruzzate con 1÷2 spruzzatori fissi o mobili. Ciò permette di risparmiare tempo e prodotto ed evitare accumuli eccessivi in talune zone dello stampo.

Utilizzando apparecchiature ad ugelli mobili e per macchine medio-grandi, il ciclo di spruzzatura ideale dovrebbe prevedere la possibilità di avere un'apparecchiatura per l'erogazione di due linee di emulsione indipendenti. Può essere così erogato lo stesso prodotto con differenti diluizioni (più concentrato per i punti più tormentati), oppure addirittura due tipi di lubroseparatori, secondo l'esigenza. Possono comunque rendersi necessari ulteriori limitati spostamenti all'interno della figura nel caso di geometria molto complessa della stessa.

Il ciclo suddetto è quello che può essere realizzato con il minor tempo a vantaggio della cadenza produttiva.

Le tecniche correntemente impiegate possono essere riassunte come segue:

- spruzzatura con getto ad erogazione continua;
- spruzzatura con getto ad impulsi;
- spruzzatura da posizione fissa o da fermo;
- spruzzatura da posizione variabile, o in movimento o in passata;
- spruzzatura a più passate o pendolare.

Alcune indicazioni pratiche per un'analisi di partenza:

- un'analisi delle condizioni termiche;
- un'analisi numerica delle condizioni geometriche e della dinamica di riempimento della cavità;
- un concetto per il trattamento dello stampo;
- un'adeguata tecnologia di spruzzatura;
- un lubrificante ottimale.

## **8.12 PROCEDURE DI LUBRIFICAZIONE EVOLUTE**

Come noto, una delle funzioni del film lubro-distaccante è quella di sottrarre calore dalla superficie della figura mediante l'evaporazione dell'acqua che veicola i principi attivi del lubro-distaccante stesso. Questa funzione tuttavia non è attualmente del tutto controllata, in quanto:

- non è noto in modo preciso e preventivo quanto calore deve essere sottratto;
- non esiste un controllo a ciclo della termica;
- non è nota la relazione esistente tra il tempo ciclo e la quantità di calore che è necessario asportare.

Alla luce di queste considerazioni si sono sviluppati dei sistemi di monitoraggio termico real-time con logica feedback come lo Smart Lubrification System.

L'acquisizione dei dati viene realizzata mediante un sistema di controllo della temperatura della pelle, essenzialmente costituito da un sensore posizionato sul robot estrattore, senza problemi di ingombro né modifiche al tempo ciclo. In base ai dati raccolti ed attraverso opportune elaborazioni si riesce a pervenire ad una retroazione sul ciclo di lubrificazione, abbinata ad un controllo dei circuiti di raffreddamento, orientata alla risoluzione di problemi di variabilità (fasi di warm-up, anomalie e guasti).

### **8.12.1 ANALISI TERMOGRAFICHE**

Le analisi termografiche rappresentano la nuova frontiera della gestione della termica e della lubrificazione in pressofusione; esse vengono realizzate mediante video-termocamere che descrivono la mappatura termica completa delle impronte in vari istanti scelti opportunamente.





*Fig. 8.17 Piano fisso dopo estrazione*



*Fig. 8.18 Piano fisso prima della lubrificazione*

Attraverso le termografie è possibile determinare, in ogni istante:

- i punti più caldi e freddi delle impronte e pertanto quali zone devono essere riviste nell'ottica della termoregolazione;
- la sollecitazione termica e lo shock subiti dagli elementi accessori dello stampo (spine, anime etc);
- la reale incidenza della lubrificazione sulla termoregolazione, attraverso una comparazione tra più termografie;
- la relazione che intercorre tra la gestione termica dello stampo e le difettosità rilevate sui getti.



Di norma questi rilevamenti vengono effettuati sulle impronte prima e dopo la lubrificazione, in modo da capire come ha interagito il lubrificante con lo stampo ed eventualmente prendere i provvedimenti di cui si è prima parlato. L'esecuzione è tuttavia non semplice perché bisogna prima avvicinarsi agli stampi mentre l'isola è a lavoro, nel minor tempo possibile per evitare che la temperatura degli stessi cambi.



Fig. 8.19 Parte fissa prima della lubrificazione (230°C circa nel punto più caldo)



Fig. 8.20 Parte fissa dopo la lubrificazione (180°C circa nel punto più caldo)

Un'alternativa alle termografie è data dai rilevamenti puntuali mediante pirometro; essi sono certamente meno precisi e presentano più incertezza sul rilevamento dei dati, tuttavia vengono spesso realizzati in quanto i costi di analisi sono minori.

Peraltro si tenga presente che il rilevamento della temperatura a scopo di monitoraggio ha senso fin quando lo stampo raggiunge un proprio equilibrio termico, oltre il quale vale la pena solo fare dei monitoraggi.

Alcune case produttrici di robot hanno interpretato questa esigenza dei pressofonditori realizzando dei robot estrattori dotati di pirometro e collegati ad un software di gestione del ciclo di lubrificazione “intelligente”, che riesce a modificare e/o aggiornare il programma di lubrificazione ciclo per ciclo a seconda delle variazioni termiche dello stampo.

### **8.13 ESERCIZIO E MANUTENZIONE**

È indispensabile che il sistema di lubrificazione dello stampo sia predisposto a norma, con la giusta sequenza di tempi, pressioni, angolazioni, spostamenti ugelli etc.

In caso di interventi di riparazione o cambio stampo lo spruzzatore non deve interferire con le operazioni a bordo macchina, non arrecare pericolo e preferibilmente venire rimosso con facilità.

La lubrificazione degli stampi nel processo di pressofusione assolve un compito importantissimo. Si può dire che una buona lubrificazione può fornire la chiave per accedere ad un elevato livello di qualità del getto.

I compiti dei lubrificanti infatti sono molteplici e non sempre le strade per ottenerne i diversi vantaggi vanno nella stessa direzione.

Le qualità intrinseche del prodotto devono essere supportate da una corretta tecnica di impiego e di applicazione che richiede di comprendere i meccanismi chimico-fisici che vi sono coinvolti.

L'utilizzatore deve verificare volta per volta la messa a punto di tutto il processo. Per applicazioni particolarmente severe poi occorre che egli si muova con particolare cautela e, come sempre, tenga presente che non è lecito attendersi soluzioni universalmente valide e, men che meno, miracolistiche.

È dunque indispensabile che l'utilizzatore abbia cura nella scelta del prodotto e nelle sue specifiche di impiego: diluizione, quantità, applicazione globale e locale, distribuzione uniforme ed asciugatura finale mediante soffiaggio ad aria compressa. Dovrà coordinare questi parametri con il livello di qualità più elevato possibile e comunque appropriato alla classe del getto richiesto, nonché allo stato delle attrezzature a disposizione, tenendo presente che il miglior risultato è sempre il frutto di compromessi tra esigenze anche contrastanti.

Nella tabella seguente vengono evidenziati gli effetti negativi che la lubrificazione dello stampo può presentare in seguito a scelte errate di prodotti e/o tecniche applicative approssimative in generale. Questi effetti possono essere ovviati, minimizzati e resi accettabili ma nella maggior parte dei casi non del tutto eliminabili.

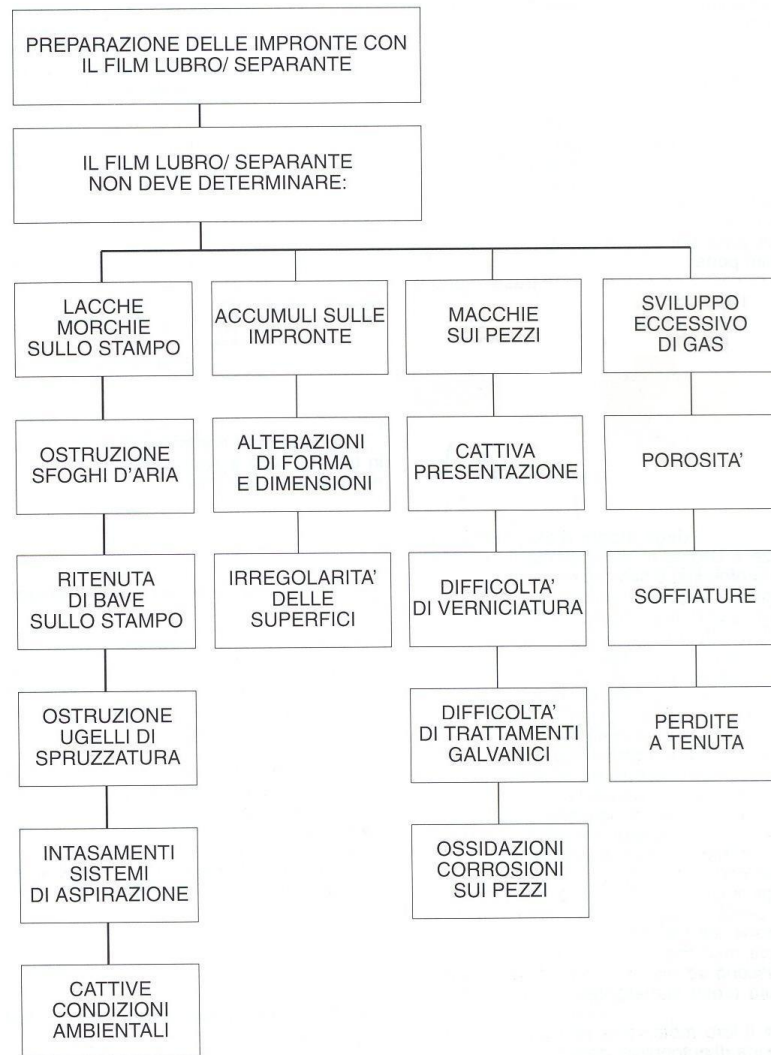


Fig. 8.21 Conseguenze di un'errata lubrificazione

## BOX TESTINE

La revisione delle testine viene effettuata presso un apposito box, dove la testina viene anzitutto smontata e pulita manualmente ugello per ugello.

Per depurare efficacemente i circuiti del corpo lubrificante dai residui e dalle melme depositate all'interno è necessario far circolare opportune sostanze chimiche, detergenti, gasoli, etc per alcune ore.

Gli ugelli inoltre, vengono controllati uno ad uno e su di essi si interviene con degli aghi per liberare le parti più strette dei canali interni; viene controllato lo stato di usura di ogni elemento, dalle membrane agli spilli ai dadi, e se necessario si procede alla sostituzione.

A questo punto testine ed ugelli vengono asciugate e riassemblate, quindi si procede al testaggio dei risultati mediante una speciale macchina di soffiaggio, progettata e realizzata dall'ALMEC S.p.A., formata da una struttura portante, un corpo compressore ed apposite bocche di soffiaggio che vengono connesse agli ingressi della testina ed immettono aria ad

altissima pressione in tutti i circuiti, rimuovendo meccanicamente i residui solidi ed asciugando le residue cavità umide.

Una volta revisionata completamente la testina è pronta per essere rimontata in macchina. L'intervento manutentivo completo può raggiungere le 20 ore di lavoro.



*Fig. 8.22 Testina da revisionare*

### 8.13.1 INFLUENZA DELLE ACQUE INDUSTRIALI

Le formazioni di accumuli che evolvono in incrostazioni dure dall'aspetto carbonioso (asfaltico), a seconda dei componenti presenti nel distaccante, in molti casi è dovuto alla dislocazione del film lubro-separante che viene staccato e trascinato dalla corrente del metallo fuso che riempie lo stampo.

Lo stacco è spesso imputabile a fenomeni di cavitazione, determinati dalla turbolenza della corrente di metallo fuso.

Una notevole influenza agli effetti della formazione di incrostazioni è data dalle caratteristiche dell'acqua impiegata per la preparazione e la diluizione delle emulsioni.

Come è noto, nell'acqua sono contenuti, disciolti in forma ionica, diversi elementi che variano in quantità e qualità a seconda della provenienza. L'insieme di questi contenuti determina la quantità del residuo secco dell'acqua stessa. In particolare, il parametro di maggior interesse in questo contesto è la durezza ovvero l'ammontare di carbonati e bicarbonati disciolti, che sono i maggiori responsabili delle incrostazioni sulle cavità degli stampi.

Considerata la struttura chimico-fisica del calcio si osserva che il calcio contenuto in forma ionica disciolto nell'acqua ( $\text{CaCO}_3$ ), per effetto dell'evaporazione perde  $\text{CO}_2$  che lo mantiene in soluzione e, precipitando, assume la forma molecolare di un cristallo cubico a facce centrate che si aggrega formando cristalli colonnari.

Una delle proprietà del calcio cristallizzato è quella di essere adsorbente e quindi di assorbire parte dei componenti attivi come gli oli, le cere, i polimeri ed i siliconi o silossani presenti nelle emulsioni, formando con essi dei composti molto aderenti alle superfici delle cavità degli stampi, che sono l'origine delle incrostazioni osservate.

Il trattamento dell'acqua con campi magnetici ad alta intensità (livelli superiori a 10000 Gauss) induce nella stessa un'accelerazione ionica che modifica la forma di cristallizzazione del calcio trasformando completamente il composto duro di carbonato di calcio in un composto incoerente di aragonite. I depositi sono di quantità inferiore ed anziché presentarsi come concrezioni ed agglomerati duri assumono la forma di polvere finissima.

Inoltre recenti studi hanno dimostrato anche che attraverso questa procedura si determina un consistente abbattimento della carica batterica. Il passaggio dell'acqua attraverso il campo

magnetico riduce dell'80÷90% l'azione della carica di batteri, spore, virus e protozoi impedendo la loro proliferazione sul substrato dei depositi di carbonato di calcio.

Batteri, funghi e spore presenti nell'acqua contaminata o nell'ambiente attaccano le emulsioni, ove trovano un terreno molto favorevole. Le conseguenze di questi attacchi batterici sono alterazioni e ridistribuzioni degli emulgatori, e conseguente squilibrio chimico delle emulsioni, che producono:

- formazioni di affioramenti oleosi e cerosi;
- precipitazioni o ancoraggi sui recipienti e le tubazioni di melme saponose insolubili;
- odori sgradevoli, per la formazione di acido solfidrico.

Le parti attive contenute in seno alle emulsioni dei distaccanti sono così ridotte quantitativamente dalle pellicole affioranti e dalle precipitazioni, rendendo insufficiente la capacità lubroseparante dei prodotti.

La forma di cristallizzazione assunta dal deposito del contenuto di calcio dell'acqua trattata con campi magnetici fa intravedere la possibilità che l'impiego di acqua trattata per la preparazione e la diluizione delle emulsioni dei prodotti lubroseparanti abbia un influsso benefico sul meccanismo di formazione delle incrostazioni dure sugli stampi. Esse vengono infatti contenute o eliminate, di modo che le parti attive (olio minerale o sintetico, cere, polimeri silossani) contenute nelle emulsioni, evitata la formazione di colonie batteriche che possono alterare l'equilibrio chimico delle emulsioni stesse, possono così esplicitare appieno le loro proprietà.





## 9. FINITURA

### 9.1 TRANCIATURA AUTOMATICA

La tranciatura automatica consiste nell'evacuazione del sistema di colata/alimentazione necessario per la produzione del pezzo. La tranciatura automatica provvede inoltre all'eliminazione di tutte quelle bave che si formano durante la produzione e delle bave di divisione stampo: si svolge in automatico mediante una pressa specifica detta pressa a trancia, dotata di apposito stampo trancia.

La tranciatura generalmente avviene subito dopo lo stampaggio. Il robot di estrazione preleva il pezzo dallo stampo, verifica mediante fotocellule o fine corsa la presenza o meno di tutto il grappolo (integrità del getto e dell'ingate system o sistema di alimentazione) e, dopo essere stato raffreddato, lo deposita sulla parte fissa dello stampo trancia (Fig.9.1).



*Fig. 9.1 Pressa stazione trancia*

Nel ciclo automatico ci sono dei sensori sullo stampo trancia che verificano il corretto posizionamento del pezzo sull'attrezzo: in caso affermativo danno l'input alla chiusura dello stampo.

A questo punto la trancia effettua l'operazione secondo il ciclo impostato fino ad arrivare al fine corsa inferiore.

La pressa di tranciatura più comunemente utilizzata è di tipo oleodinamico verticale. Tutto il sistema di colata e alimentazione non facente parte figura viene staccato dal pezzo e convogliato o in apposito contenitore (boccame) o in convogliatori che portano tali sfridi direttamente ai forni fusori per la rifusione, ma non è il caso dell'ALMEC S.p.A..

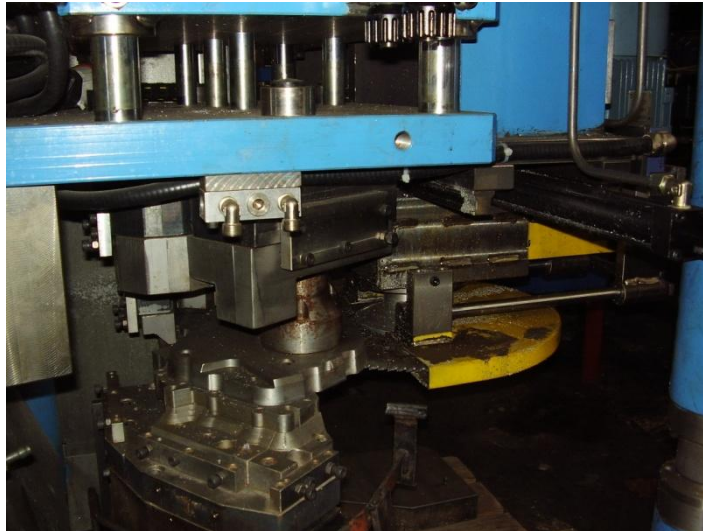
Il pezzo tranciato e sbavato è ripulito dalle eccedenze e viene generalmente trattenuto dalla parte mobile dello stampo; a questo punto la pressa si apre raggiungendo il tratto di fine corsa superiore, dopo di che entra un piatto estrattore sul quale la trancia depone il pezzo.

Il grado di sbavatura dipende dalla progettazione dello stampo trancia, dal grado di finitura che si vuole ottenere e dal grado di manutenzione che su questo si applica, in quanto soggetto ad usura.

Vengono così a definirsi vari livelli di tranciatura:

- smaterozzatura, realizzata mediante uno stampo molto semplice;
- tranciatura, realizzata con uno stampo più articolato, abbinato a movimenti fuori-asse di altri componenti, cilindri idraulici etc;
- tranciatura fine, che perfeziona la qualità del tranciato mediante componentistica più complessa e strumenti ulteriori come la sega elettrica integrata etc.

E' evidente che il costo di questi stampi cresce in base alla qualità richiesta sul getto.



*Fig. 9.2 Stampo trancia con sega*

## 9.2 CONTROLLI DOPO LA TRANCIATURA

Dopo la tranciatura i controlli da effettuare sono:

- 100% controllo visivo dei getti da parte dell'operatore<sup>23</sup> con la finalità di rilevare l'integrità del prodotto e che non vi siano macrodifetti quali: strappature, cricche, maschi rotti, fusioni incomplete, etc. In seguito, se il controllo è superato i getti vengono ordinati in appositi contenitori per l'operazione successiva (trattamento termico su richiesta o granigliatura);
- almeno una volta ogni turno bisogna controllare la geometria dei pezzi mediante macchine 3D (DEA, PAG etc), generalmente un pezzo per ogni prodotto;
- una volta al turno controllare la qualità metallurgica dei pezzi prodotti mediante esame radiologico Rx;
- controllo delle caratteristiche meccaniche (trazione, durezza, allungamento, etc) con una tempistica secondo la criticità del getto o la funzione strutturale del componente.

## 9.3 PRESBAVATURA

Dopo i controlli eseguiti ad ultimazione del ciclo di tranciatura, il prodotto prosegue nel suo processo subendo, sempre ad opera dell'operatore, una presbavatura consistente in:

---

<sup>23</sup> Si utilizzano calibri manuali per riscontrare eventuali deformazioni.



- rimozione di bave ed apertura di determinati fori;
- asportazione di eccessi di materiale e residui incompleti di tranciatura.



*Fig. 9.3 Presbavatura di una scatola cambio*

## 9.4 PROVE DI TENUTA

L'operazione successiva alla presbavatura è data dalle prove di tenuta ed è realizzata mediante un impianto aria/aria (Air Decay a pressione di controllo di  $1 \div 1,5$  bar) quando richiesta al 100%.

Generalmente sui getti ALMEC gear box (scatole cambio) le specifiche di perdita sono:

Perdita < 12 cc/min	OK
12 cc/min < Perdita > 50 cc/min	pcs impregnabili
Perdita > 50cc/min	Scrap (scarti)

*Fig. 9.4 Specifiche di perdita concesse*

Comunque queste specifiche vengono sempre concordate con il cliente.



*Fig. 9.5 Foto impianto aria aria*

Quando la prova a tenuta non è espressamente richiesta, ma il particolare comunque deve garantire una certa tenuta, viene eseguita come controllo di processo e verifica della qualità la prova di tenuta in %, generalmente in impianti aria/acqua. La prova è statistica secondo il piano di controllo approvato, è un controllo utilissimo per l'avviamento produttivo. La prova di tenuta aria/acqua inoltre viene eseguita come riprova sui particolari scrap alla prova aria/aria anche per individuare la zona di perdita.



*Fig. 9.6 Impianto aria/acqua*

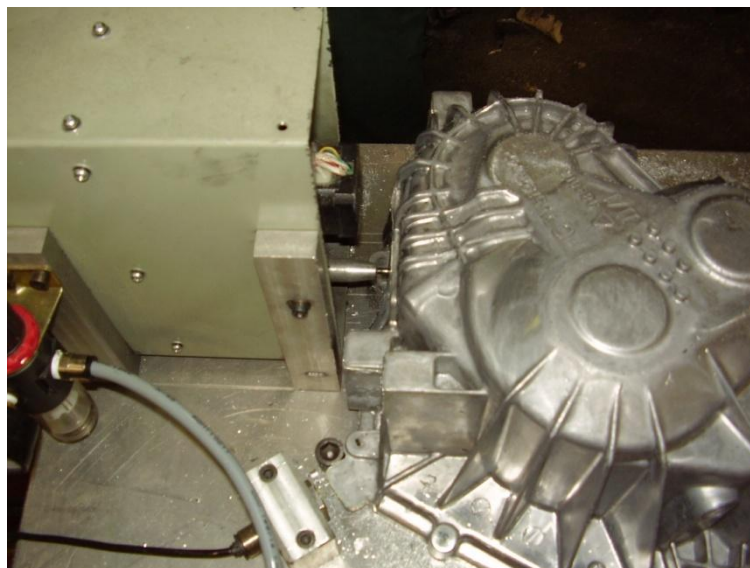
In entrambi i casi, quando la prova di tenuta ad aria dà esito negativo la si fa seguire da una seconda prova in acqua, in modo da poter individuare precisamente la zona di perdita (controllo aria/acqua) e prendere dei provvedimenti correttivi.

## **9.5 TIMBRATURA**

La timbratura è un'operazione che serve per garantire la tracciabilità del prodotto e consiste nel porre meccanicamente sulla superficie del pezzo una scritta includente tutte le informazioni necessarie a questo scopo (un codice).

La timbratura si realizza mediante una macchina timbratrice che colpisce ripetutamente la superficie scelta del getto mediante una punta diamantata vibrante, in moto secondo una traiettoria compatibile con l'immagine o la scritta che si vuole imprimere. Gli impatti provocano una deformazione permanente sul getto che consente di ottenere il risultato suddetto.

La programmazione della timbratrice avviene in maniera arbitraria mediante una consolle PLC e può essere regolata in energia di deformazione e intertempo tra gli impatti a seconda della visibilità necessaria. Nel caso dell'ALMEC S.p.A. la timbratura viene eseguita in maniera molto evidente in quanto le informazioni impresse non devono svanire a seguito dell'esposizione del getto alla granigliatura.



*Fig. 9.7 Timbratrice al lavoro*

## **9.6 GRANIGLIATURA**

Qualora fosse richiesta da parte del cliente, è un'operazione meccanica che viene effettuata sulle superfici colpendo i getti con sferette metalliche di circa 1 mm di diametro tramite apposite turbine schermate e protette in un impianto chiamato granigliatrice.

Gli effetti di questa operazione sono quelli di migliorare l'aspetto estetico, rimuovere eventuali bave residue di piccole dimensioni, conferire un aumento della durezza superficiale (in quanto l'azione delle sfere provoca una deformazione permanente sul getto e, quindi, un incrudimento).

Dopo l'operazione di granigliatura è necessario pulire molto bene i getti in modo da eliminare la contaminazione del prodotto dalle graniglie; questa operazione può essere effettuata manualmente o mediante impianti automatici di soffiaggio.



*Fig. 9.8 Granigliatrice*

In ALMEC S.p.A. la granigliatura è un'attività affidata in outsourcing ad una ditta specializzata, tuttavia esistono delle granigliatrici nella Fonderia C all'occorrenza impiegabili.

## **9.7 SBAVATURA**

L'attività di sbavatura è realizzata o da personale interno o in outsourcing e si articola nelle seguenti azioni:

- pulizia dei profili e dei piani di divisione;
- sbavatura delle zone non tranciate né pre-sbavate;
- apertura di condotti;
- soffiaggio di residui da granigliatrice;
- controllo del getto:
  - GP12, cioè controllo delle quote critiche;
  - Firewall, cioè controllo delle aree critiche evidenziate durante il processo.

## **9.8 TRATTAMENTI TERMICI**

I pezzi pressocolati non sono predisposti per subire un trattamento di bonifica o un qualsiasi trattamento che comporti l'innalzamento della temperatura al di sopra di 300°C perché, avendo questi particolari una rilevante presenza di gas nella struttura, subirebbero per l'innalzamento della temperatura un aumento della pressione nelle bolle di gas nelle pareti, con rischio di esplosione e di danneggiamento del prodotto.

Si possono tuttavia realizzare dei trattamenti di distensione al fine di ridurre le tensioni interne, ad una temperatura di 180÷220°C senza eccessivi pericoli.



## 9.9 PRELAVORAZIONE MECCANICA ED ISPEZIONE FINALE

L'operazione successiva consiste nell'esecuzione di eventuali prelaborazioni meccaniche come la tornitura, fresatura, levigatura etc.

In seguito si valuta visivamente la qualità del getto finito e si individuano eventuali ulteriori pezzi scarto.



*Fig. 9.9 Getto granigliato e lavorato alla MU*

I pezzi scartati per controlli visivi talvolta possono essere recuperati mediante saldatura dove è possibile questa operazione, tuttavia non è consigliata per i getti pressocolati perché le eventuali inclusioni d'aria e di residui di lubrificanti carburizzati non permettono un recupero dei getti, anzi talvolta peggiorano le superfici e le caratteristiche.

## 9.10 IMBALLAGGIO ED AUDIT

Superati questi esami, tutti i pezzi vengono poi posizionati ordinatamente sui piani di imballaggio specifici concordati con il cliente. Nel caso delle scatole cambio prodotte in Fonderia C, essi vengono realizzati secondo precisi schemi dispositivi, quindi viene avvolta tutta la struttura, pallet compreso, da una robusta pellicola plastica che svolge azione protettiva contro gli agenti atmosferici e azione di contenimento/stabilità sui pezzi.



Fig. 9.10 Esempio di imballaggio

Quando gli imballaggi sono pronti si passano tutti all'Audit finale, che preleva dei getti in maniera casuale per controllarne la conformità prevista. Identificazione certificata del prodotto e della qualità sono le ultime operazioni prima della spedizione al cliente.

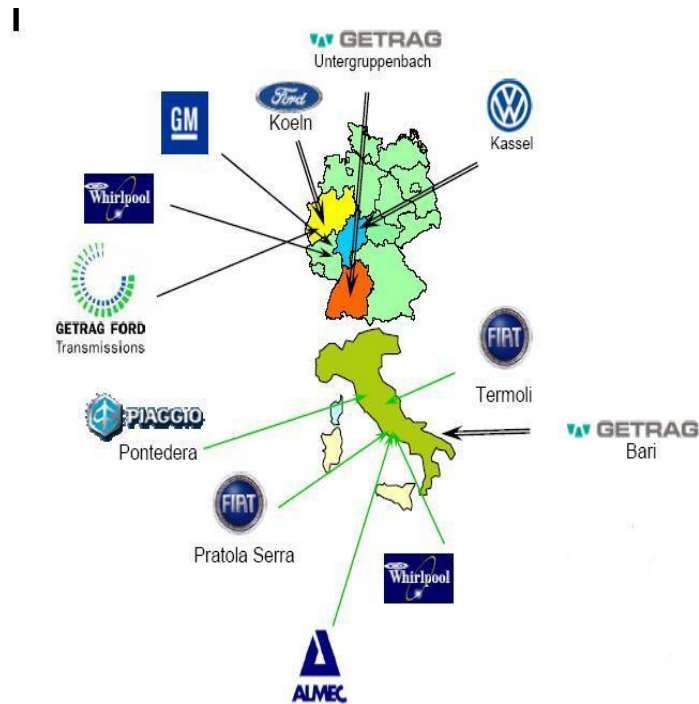


Fig. 9.11 Clienti ALMEC S.p.A.

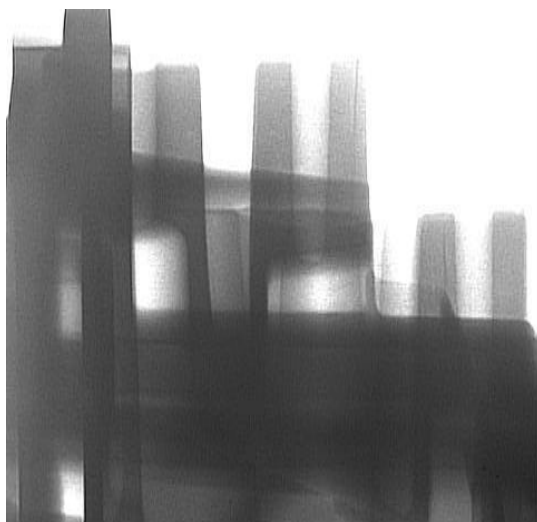
# 10. DIFETTI E QUALITÀ

## 10.1 INTRODUZIONE

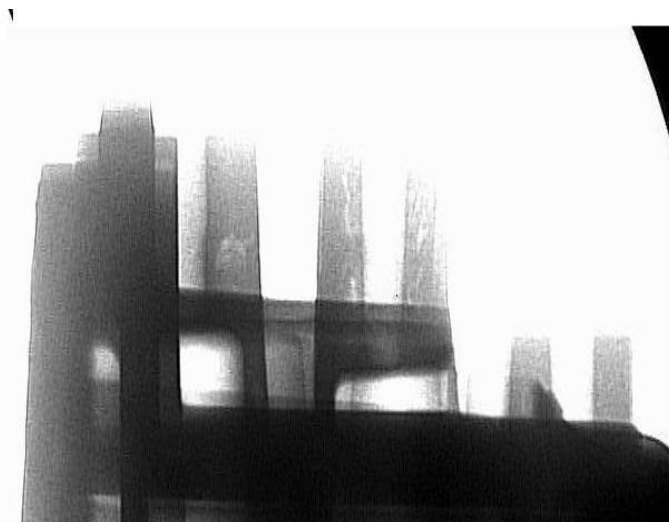
La Norma UNI EN 9000:2000 al punto 3.1.1 definisce la qualità come grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche soddisfa i requisiti; quindi la qualità è un complesso di elementi distintivi di un prodotto che riguarda l' idoneità al soddisfacimento di determinate esigenze.

I costi di realizzazione di un getto in pressofusione sono molto influenzati dal livello di qualità richiesto: è buona norma che i requisiti minimi siano sensati e condivisi dal progettista e dal fonditore.

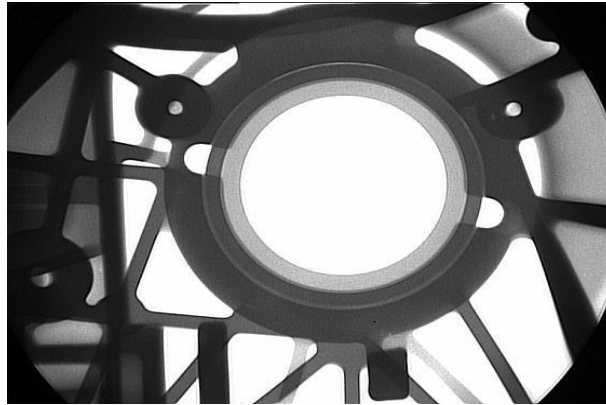
Qui in seguito vengono riportati alcuni controlli radiografici che il reparto qualità effettua periodicamente per tipologia, in seguito ai quali valuta l' accettabilità di un lotto di produzione ed eventuali interventi sul processo.



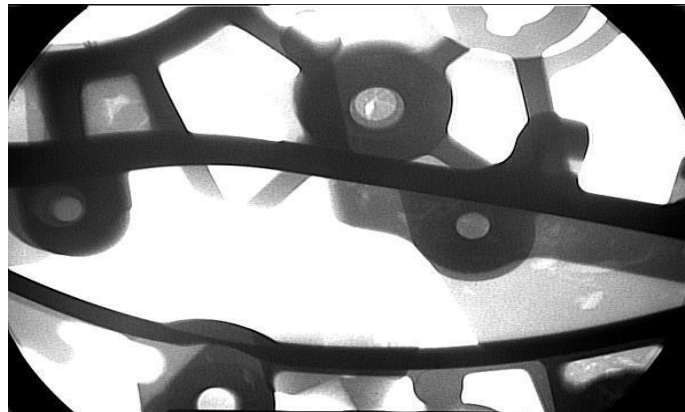
*Fig. 10.1a Esempio accettabile*



*Fig. 10.1b Esempio non accettabile*



*Fig. 10.2 Particolare di un getto risultato buono al controllo radiografico*



*Fig. 10.3 Particolare di un getto non risultato buono al controllo radiografico*

## **10.2 INTERAZIONE TRA STRUTTURA CRISTALLINA E CARATTERISTICHE MECCANICHE**

Nella solidificazione i metalli formano strutture in varie forme, dimensioni, orientamento di cristalli e loro aggregati: la frattura di un getto metallico ha luogo in generale sulle superfici di contatto fra i cristalli di solidificazione e non all'interno dei cristalli stessi.

Poiché la superficie di contatto è proporzionale alle dimensioni del cristallo nell'ambito delle caratteristiche proprio di quel determinato tipo di lega, una struttura grossolana presenta scarsa resistenza mentre una struttura fine presenta un'alta resistenza meccanica.



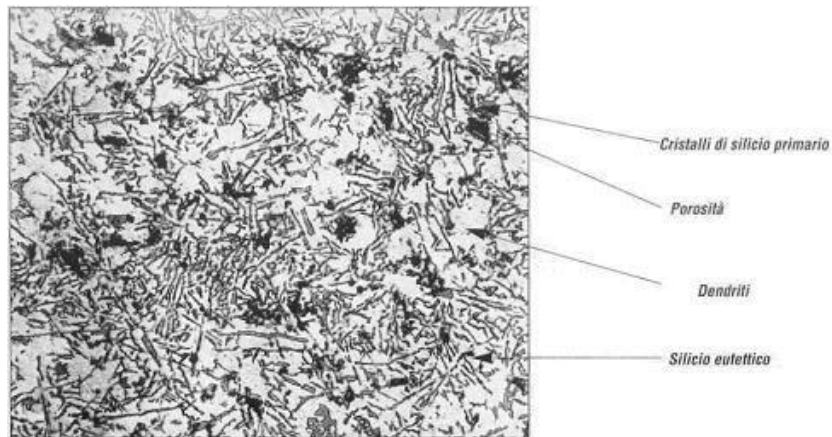


Fig. 10.4. Micrografia prima dei trattamenti di modifica per lega 46000

Anche la forma dei cristalli influisce molto sulle caratteristiche di resistenza meccanica dei pezzi. Le strutture che presentano cristallizzazioni sotto forma di aghi o placchette presentano scarsa resistenza in quanto innescano nel pezzo superfici preferenziali di rottura. È chiaro infatti che se una delle dimensioni prevalenti di una placchetta è orientata trasversalmente alla direzione dello sforzo di trazione cui il pezzo è sottoposto, questi offrirà una resistenza assai bassa.

Le strutture di tipo globulare e/o molto finemente cristallizzate, nelle quali i cristalli sono ben compenetrati fra di loro in modo da formare una struttura risultante di tipo "feltrato" presentano le più alte caratteristiche meccaniche e di tenuta. Ne consegue l'opportunità di eseguire sul metallo, per la produzione di particolari pezzi, trattamenti capaci di conferire alla lega questa struttura metallografica.

Le reazioni che avvengono in fase di fusione durante la permanenza nelle leghe di alluminio nei forni introducono nella massa fusa:

- gas che sono cause di formazione di ossidi come l' $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- grossi cristalli di Si;
- sedimentazioni dei componenti altofondenti.

Si rende pertanto necessario rimuovere il più possibile dalla massa fusa ossidi e gas inevitabilmente presenti perché quantità apprezzabili di essi provocano diminuzione di colabilità, concorrono a generare porosità, influenzano negativamente le caratteristiche meccaniche finali come la resistenza a trazione la tenacità e l'allungamento.

## 10.3 CONTENUTO DI GAS NEI PRESSOFUSI

Il processo di pressocolata comporta inevitabilmente la presenza di gas all'interno della struttura dei pezzi.

La presenza di quantitativi più o meno consistenti di gas è dovuta ai seguenti fattori:

- assorbimento di gas nella fusione della lega;
- segregazione di aria e umidità che avviene durante il processo.

I gas presenti in un pezzo pressocolato sono azoto ed idrogeno; l'ossigeno, che pure è presente nella atmosfera nella misura del 21%, non lo si trova mai all'interno di un pezzo pressofuso in quanto entra immediatamente in combinazione con l'alluminio formando  $Al_2O_3$ .

I gas di qualsiasi natura intrappolati all'interno di un pezzo pressocolato abbassano la qualità del pezzo e le caratteristiche meccaniche-tecnologiche come resistenza meccanica e tenuta a pressione:

- se sono finemente dispersi in seno alla massa metallica determinano porosità;
- se sono concentrati in particolari zone del pezzo determinano macro cavità e soffiature.

## 10.4 DIFETTI LEGATI ALLA LEGA FUSA

Spesso la qualità della lega liquida è considerata un fattore secondario e solo la sua composizione chimica viene misurata attraverso lo spettrometro.

Le impurità normali che si trovano nel bagno sono dovute alla presenza di elementi chimici come Fe, Si, Mn, Cu, Cr, Ti in quantità differenti rispetto alle richieste della normativa.

Le impurità sono invece dovute alla sporcizia, ai film di ossidi ed alle inclusioni che creano getti di scarto a causa della formazione di porosità, punti duri, riduzione delle fluidità e calo delle proprietà meccaniche.

Quindi per entrambe le tipologie di impurità è necessario un adeguato controllo del processo e bisogna fissare dei limiti di accettabilità precisi.

In generale si può riassumere che l'inquinamento sul metallo fuso porta alla formazione di ossidi e di nitruri, favorisce la solubilizzazione dei gas e causa l'inclusione di particelle carboniose argillose e sabbiose.

### 10.4.1 FORMAZIONE DELLA SCORIA

Le caratteristiche chimico-fisiche delle lega di Al sono influenzate da:

- formazione di scoria per la facilità di ossidazione dell'Al liquido a contatto con l' $O_2$ : questo strato se non viene rotto o agitato esercita una protezione all'assorbimento di gas ed alla formazione di un ulteriore strato di scoria;
- quantità di  $H_2$  che il bagno assorbe; è questo un altro fattore che varia le caratteristiche chimico-fisiche variando il ciclo di solidificazione con formazione di porosità;
- bassa densità della lega liquida che causa una bassa pressione idrostatica nello stampo e quindi influisce sulla solidificazione: sono necessarie adeguate materozze e fagioli in numero e disposizione per evitare difetti di risucchio;

- impurità nel metallo fuso che segregano detriti che causano cricche di solidificazione e strappi del metallo appena solidificato.

Allo stato liquido l'Al reagisce con l'atmosfera e con l'umidità contenuta formando una scoria costituita da ossido di Al e nitruri; all'aumentare della temperatura la quantità di ossidi aumenta e quindi cresce lo strato di residuo che intrappola anche il metallo formando scoria ricca. La formazione di scoria è anche influenzata dall'utilizzo di rottami non essiccati, presenza di Mg nella carica ed agitazione eccessiva all'interno del bagno.

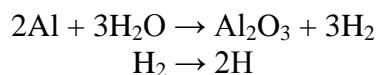
Tuttavia un giusto strato di scoria compie una funzione protettiva contro l'eccessiva ossidazione e l'inquinamento dovuto alla combustione all'interno del forno.

Nei grossi forni a riverbero la formazione di ossidi si sviluppa nell'interfaccia metallo-refrattario mutando la produttività del forno, riducendo la vita del refrattario, contaminando il metallo ed aumentando i costi di combustione.

#### 10.4.2 POROSITÀ DA GAS

L'assorbimento da parte del bagno liquido di Al del  $H_2$  è molto problematico ed avviene per l'esistenza del vapore acqueo nel forno, per l'umidità dai refrattari e dalle schiumarole, per lingotti rottami o trucioli umidi; la presenza di  $H_2$  libero nell'atmosfera è trascurabile.

Le reazioni chimiche che regolano l'assorbimento dell'idrogeno nel bagno liquido sono:



La solubilità dell'idrogeno diminuisce rapidamente quando il metallo solidifica con la formazione di porosità tondeggiante e blisters in superficie.

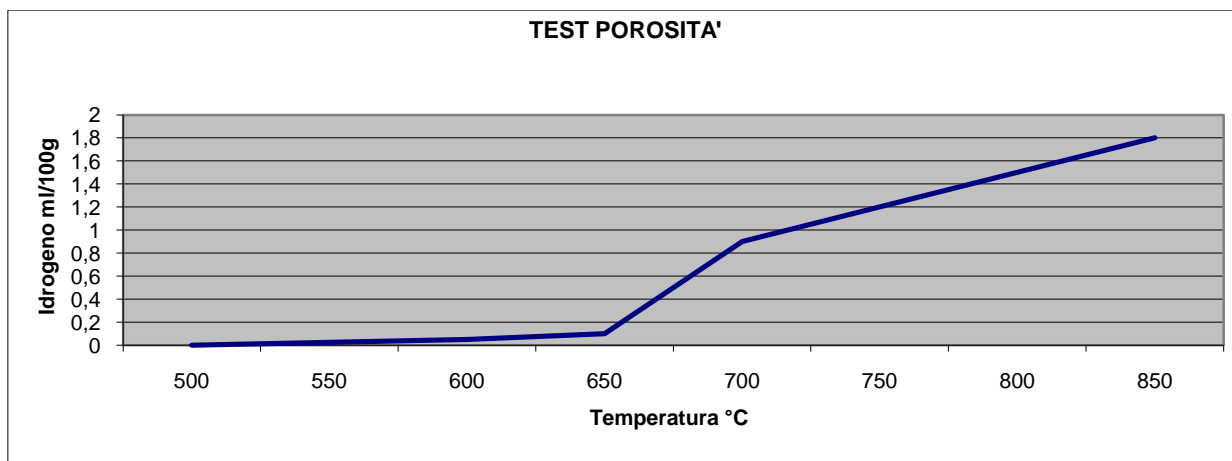


Fig.10.5. Test solubilità del  $H_2$  in rapporto alla temperatura

### 10.4.3. PUNTI DURI

I punti duri sono delle inclusioni eterogenee di elevata durezza, di dimensioni inferiori al mm, impediscono la lavorazione dei getti alle macchine utensili, possono provocare la rottura fragile del pezzo perché causano una disomogenea distribuzione interna degli sforzi, sono un punto di innesco per le microcricche e per la rottura a fatica in esercizio anche in presenza di sovradimensionamenti, non possono essere eliminati una volta presenti nel getto, non sono visibili all'esterno e si posizionano negli strati sotto pelle sfuggendo ai controlli radiografici.

L'origine dei punti duri può essere di:

- origine estranea alla lega causata dalla presenza di frammenti di crogioli, dai materiali refrattari del forno; questa origine non è un grave danno perché avendo un'origine casuale non costituisce un difetto continuativo durante la produzione dei getti;
- solidificazione rapida causando gocce fredde per via di errori nella progettazione di condotti e delle cavità dello stampo, eccessiva velocità di iniezione, eccessiva durezza per la presenza di strutture fini che causano l'estrema rapidità di raffreddamento;
- grumi di pelle che contribuiscono alla discontinuità geometriche e che se si compattano formano piccoli grumi di elevata durezza;
- particelle d'ossido parzialmente trasformate in cristalli di corindone che si formano per la lenta reazione delle pellicole di ossido con l'Al liquido;
- Composti intermetallici duri, contenenti soprattutto Mn, Cr, Cu, Fe e Si derivanti dalla composizione della lega e dai suoi elementi inquinanti, che si cristallizzano grazie ai germi di nucleazione costituiti da pellicole di ossido.

## 10.5 CLASSIFICAZIONE DEI DIFETTI

Ora segue una breve classificazione di alcuni difetti riscontrabili sui getti prodotti in pressofusione secondo la seguente classificazione:

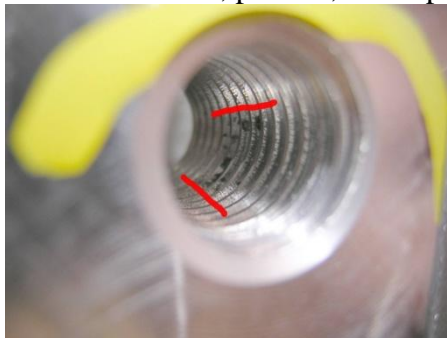
1. difetti interni;
2. difetti superficiali;
3. difetti di geometria.

Per alcune importanti tipologie di difetti sono riportate alcune foto.

### 10.5.1 DIFETTI INTERNI

I difetti interni si possono suddividere in:

- difetti da ritiro: porosità interdendritica, planare, macroporosità;



- difetti da gas: porosità da idrogeno, per intrappolamenti di aria, di umidità e di lubrificante;



- difetti da riempimento: giunzioni, sfogliature e gocce fredde;



- fasi indesiderate: inclusioni metalliche, inclusioni non metalliche di ossidi e di scoria, fasi intermetalliche;



- difetti da contrazione termica contrastata: cricche e cricche a caldo.

## 10.5.2 DIFETTI SUPERFICIALI

I difetti superficiali si possono suddividere in:

- difetti da ritiro: ricali;



- Difetti da gas: blisters;
- difetti di riempimento: giunzioni, sfogliature e gocce fredde;



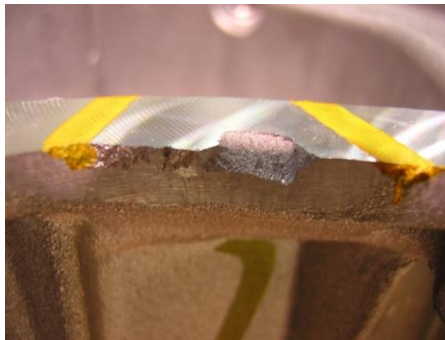
- fasi indesiderate e corrosione: depositi, contaminazioni esterne, inclusione metalliche e non metalliche;



- difetti da contrazione termica contrastata: cricche e cricche a caldo;



- difetti da interazione metallo/stampo: erosione, metallizzazione, cricature, segni di espulsioni e corrosione dello stampo;



### 10.5.3 DIFETTI DI GEOMETRIA

I difetti di geometria si possono suddividere in:

- mancanza di materiale: getto incompleto;



- eccesso di materiale: bava;



- fuori tolleranza: getto deformato.





# 11. TECNOLOGIE INNOVATIVE

## 11.1 INTRODUZIONE

Per la realizzazione di getti il processo di pressofusione al giorno d'oggi sta subendo un grosso incremento soprattutto per via del grande impiego di pezzi pressocolati nell'industria automobilistica; grossi volumi produttivi, pesi ridotti ed economicità del processo sono le principali richieste da parte dei costruttori di veicoli.

Solo da qualche anno, con la realizzazione di leghe primarie a basso tenore di Fe, il processo di colata in pressione realizza nodi di strutture Space-Frame, supporti motori, telai di volante e traverse varie grazie all'impiego di leghe che presentano ottime caratteristiche meccaniche ed elevata duttilità.

In questo capitolo verrà presentata una panoramica generale sulle alcune nuove leghe di Al e su alcune varianti al processo di pressofusione; nei prossimi anni subiranno un incremento di utilizzo ed impiego soprattutto per la possibilità di effettuare trattamenti termici e realizzare getti con geometrie più complesse.

## 11.2 LEGHE DA PRESSOFUSIONE INNOVATIVE

### AlSi9MgMn

Le principali caratteristiche della lega primaria AlSi9MgMn sono:

- Buona saldabilità;
- Elevata resistenza a fatica;
- Possibilità di effettuare trattamenti termici per ottenere elevato allungamento (T4,T5,T6,T7);
- Buona colabilità;
- Possibilità a realizzare spessori molto sottili;
- Facilità di distacco dallo stampo in fase di estrazione;
- Discreta resistenza alla corrosione;
- Ideale per operazioni di rivettatura e ribaditura.

È una lega da pressofusione che permette di ottenere allungamenti elevati, resistenze meccaniche medie e un carico di snervamento di 250 MPa, ha una densità di  $2,64 \text{ Kg/dm}^3$ , un modulo elastico di 75 GPa ed un limite di fatica per  $10^6$  cicli di 89 MPa.

I principali elementi chiave nella sua composizione chimica sono il Mn per evitare incollature nello stampo e favorire la formazione di fasi intermetalliche per aumentare la duttilità ed il Mg per la definizione del carico di snervamento e di rottura. La presenza ridotta di Fe evita la formazione di fasi intermetalliche infragilenti.

I suoi campi di impiego sono la realizzazione di montanti anche integrali per autovetture, particolari di portiere, forcelle per motoveicoli, corpo strutturale per motoveicoli, supporti motori etc.

## AlSi9Mn

Le principali caratteristiche della lega primaria AlSi9Mn sono:

- Assenza di invecchiamento alle alte temperature;
- Buona saldabilità;
- Elevata resistenza a fatica;
- Buona lavorabilità alle macchine utensili;
- Buona colabilità;
- Elevato carico di snervamento allo stato grezzo;
- Possibilità a realizzare spessori molto sottili;
- Facilità di distacco dallo stampo in fase di estrazione;
- Discreta resistenza alla corrosione;
- Ideale per operazioni di rivettatura e ribaditura.

È una tipologia di lega che permette di ottenere getti con caratteristiche meccaniche elevate, inoltre con ottima saldabilità e quindi ideale per realizzare progetti e strutture complesse; inoltre le principali caratteristiche sono una densità di  $2,69 \text{ Kg/dm}^3$ , un modulo elastico di  $75 \text{ GPa}$  ed un limite di fatica per  $10^6$  cicli di superiore a  $89 \text{ MPa}$ .

I suoi campi di impiego sono la realizzazione di nodi di telai per autovetture, particolari di parabrezza etc.

Spessore di parete	Carico di snervamento	Resistenza a trazione	Allungamento a rottura
	$R_{p0,2}$	$R_m$	A
mm	MPa	MPa	%
2÷3	120÷150	260÷300	10÷14
3÷5	100÷130	230÷280	10÷14
5÷7	80÷110	200÷250	10÷14

Fig. 11.1

## 11.3 TRATTAMENTI TERMICI

Il trattamento termico sulle leghe leggere ha la capacità di migliorare le caratteristiche meccaniche di alcune leghe base Al con un procedimento stabilito in base all'effetto desiderato. L'esecuzione di trattamenti termici potrebbe originare tuttavia dei bisters superficiali in caso di presenza di bolle d'aria. Utilizzando processi tipo vacuum o vacural, che ne limitano notevolmente la presenza, è possibile eseguire trattamenti termici come per processi in gravity e low pressure, che conferiscono al getto elevate caratteristiche meccaniche e tecnologiche.

### 11.3.1 TRATTAMENTI SENZA SOLUBILIZZAZIONE

#### STATO O

Con questo stato si ha un aumento del carico di snervamento e dell'allungamento senza avere deformazioni sul getto pressofuso; è composto dal trattamento di ricottura e dal trattamento di invecchiamento a  $320\div380^\circ\text{C}$  per  $30\div60$  minuti.

#### STATO T5

Con questo stato si ha un moderato aumento del carico di snervamento e dell'allungamento con però il rischio di avere deformazioni durante la tempra in acqua; segue anche il trattamento di invecchiamento a 190÷220°C per 120 minuti.

### 11.3.2 TRATTAMENTI CON SOLUBILIZZAZIONE

Non devono essere presenti porosità gassose per evitare difetti superficiali e durante i trattamenti bisogna porre qualche accorgimento per evitare deformazione dei getti prodotti.

#### STATO T4

Allo stato T4 il getto viene mantenuto per 180 minuti ad una temperatura di solubilizzazione di 490°C per permettere agli elementi solubili di diffondersi in soluzione solida ed al Si eutettico di sferoidizzarsi; segue spegnimento in acqua per evitare il mescolamento degli elementi in soluzione che devono rimanere intrappolati nella matrice

#### STATO T6

Lo stato T6 è un trattamento termico completo con solubilizzazione a 490°C per 6÷8 h in spegnimento aria calma o forzata porta la lega ad un'elevata resistenza meccanica.

#### STATO T7

È uno stato aumentato del T6 dove tempi di invecchiamento lunghi e temperature più elevate (235°C) portano allo stato di super-invecchiamento ottenendo un buon allungamento con resistenza meccanica elevate.

#### TEMPRA IN ARIA

Si effettua al termine della solubilizzazione una tempra in aria invece dell'acqua per minimizzare le distorsioni del getto per 120 minuti a 170°C.

## 11.4 TECNICHE PER IL RICOPRIMENTO SUPERFICIALE

I getti pressofusi che devono essere rivestiti hanno bisogno di una elevata qualità superficiale per soddisfare esigenze estetiche e resistenza alla corrosione. I fattori che incidono maggiormente sulla correttezza e sulla integrità sono:

- diverse fasi del processo di pressocolata e ciclo di lubrificazione;
- lavorazioni meccaniche che subiscono i getti prodotti;
- progetto della geometria dello stampo;
- presenza di cricature;
- trattamenti termici.

Di norma prima di effettuare qualsiasi ricoprimento superficiale è necessario effettuare un pre-trattamento superficiale che può essere la barilatura, pallinatura e sabbatura; queste operazioni vengono eseguite con perle di vetro, graniglia metallica e materiali ceramici che hanno una modesta asportazione di materiale superficiale. Non bisogna mai usare materiali estranei alla lega come i quelli plastici che a causa della penetrazioni in fiocchi nella superficie da lavorare causano anomalie di adesione; se invece si impiegano particelle in Fe c'è il rischio di corrosioni perforanti.

Segue a questi primi trattamenti la sgrassatura del getto per evitare inglobamenti e per eliminare residui incombusti del distaccante dello stampo e del lubrificante del pistone.

## **11.5 VARIANTI AL CLASSICO PROCESSO DI PRESSOFUSIONE**

Il Thixo-Forming rappresenta un segmento di mercato speciale ed ha sue applicazioni per produrre con una macchina da pressofusione getti che fino ad oggi erano possibile realizzare solo in conchiglia.

Nella pressofusione tixotropica la lega invece che allo stato liquido viene iniettata allo stato semi-solido (Semi Solid Metal Casting SSM) riscaldando delle billette, a forme di barre, da inserire nel contenitore; la viscosità varia sotto l'azione della pressione durante il riempimento dello stampo ottenendo un miscuglio solido-liquido con buone caratteristiche di fluidità.

I vantaggi del SSM sono i seguenti:

- Tempi inferiori di solidificazione;
- Meno porosità di ritiro;
- Maggior durata di vita dello stampo;
- Ottimi valori di resistenza meccanica e di allungamento;
- Saldabilità e attitudine ai trattamenti termici.

Lo Squeeze Casting rappresenta un altro segmento di mercato speciale e si presta per ottenere pressofusi con spessori importanti con elevate esigenze meccaniche come pezzi di sicurezza nel settore automobilistico ottenendo getti saldabili e trattabili termicamente.

# CONCLUSIONI

La fonderia di pressocolata nella quale è stata realizzata questa tesi è un'azienda che lavora leghe di Al allo stato liquido, in pressione, impiegando una tecnologia significativamente complessa con l'interazione di varie unità. Ogni isola di pressofusione possiede delle unità proprie; dal punto di vista produttivo le parti critiche sono: la macchina di pressocolata in senso stretto, l'impianto di lubrificazione, il robot di movimentazione del pezzo, la pressa di trancia e gli stampi.

La redditività di un'isola di pressofusione è strettamente collegata al tempo ciclo durante il normale funzionamento, dai tempi di arresto (programmati e non) ed dal numero di getti di scarto durante la fase di avviamento e la normale produzione.

Nella tesi ci si è concentrati sulla ottimizzazione del warm-up, del tempo ciclo e del processo fusorio; per ciascuna di queste parti si è arrivati a risultati concreti: una nuova procedura di avviamento, una modifica delle fasi ed un nuovo approccio per gestire al meglio gli impianti industriali.

Tutti questi sviluppi hanno portato ad un aumento della produzione e ad un contemporaneo calo del numero di getti non accettabili, riorganizzando l'iterazione interna tra i macchinari ottenendo una riduzione del tempo ciclo.

Realizzare questi interventi è stato complesso, in quanto è stato richiesto un valido studio di fattibilità ed una stima degli impatti sul resto delle fasi di produzione che non ha mai potuto essere interrotta, trattandosi di un impianto a ciclo continuo h24. Mentre la nuova procedura di warm-up e l'analisi del tempo ciclo sono andati ad ottimizzare il periodo di singola produzione, l'ottimizzazione del processo è stata un'attività che è intervenuta più globalmente sulla produzione nel lungo periodo.

I risultati di questi interventi hanno garantito all'azienda dei significativi benefici, ma il miglioramento può continuare non interrompendo le seguenti azioni:

- definizione e monitoraggio del livello prestazionale della fonderia;
- approfondimento della conoscenza delle cause di fermo e di scarto;
- definizione degli interventi di migioria sul processo e di manutenzione.

A partire da questo lavoro si sono stabiliti, anche nel campo della fonderia, l'importanza di perseguire un approccio analitico alla produzione e la necessità di disporre di dati sufficienti e mezzi di elaborazione. Infine si è compreso che esistono tantissimi modi di ottimizzazione, ma essi non possono prescindere o scavalcare quella che deve essere una gestione ordinaria della produzione il più possibile puntuale ed efficiente.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] L. ANDREOLI, M. CASÉ, G. POMESANO, “Lubrificazione della cavità dello stampo”, Quaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio, EDIMET (settembre 1996). pp 159-160
- [2] L. ANDREOLI, M. CASÉ, G. POMESANO, “Il lavoro termico dello stampo”, Quaderni della colata a pressione delle leghe di Al, EDIMET (dicemb 1995).pp 136-142
- [3] L. FEDELE, L. FURLANETTO, D. SACCARDI, “Progettare e gestire la manutenzione”, McGraw-Hill (2004).
- [4] TEKSID ALUMINIUM, “Guida tascabile della qualità”, (Marzo 2004).
- [5] F. CECCHETTO – CHEN TREND, SESTO ULTERIANO, “La lubrificazione nell’isola di pressocolata”, Giornata di studio AIM Università di Padova, Vicenza (giugno 2005) pp 156-158.
- [6] G. MONFREDINI – ACHESON ITALIA, MEZZAGO, “La lubrificazione degli stampi”, Giornata di studio AIM Università di Padova, Vicenza (giugno 2005).
- [7] L. ANDREONI, C. BERETTA, “L’arte della pressocolata”, KLUBER LUBRIFICATION ITALIA s.r.l. (aprile 1990).
- [8] L. BARALDI – BARALDI LUBRIFICANTI, OSTERIA GRANDE, R. BONI – IDRA PRESSE, BRESCIA, “Smart lubrication system”, Giornata di studio AIM Università di Padova, Vicenza (giugno 2005).
- [9] G. MONFREDINI – ACHESON ITALIA, MEZZAGO, “Relazione tra la lubrificazione e lo stampo”, Dallo stampo alla qualità del pressocolato Università di Bologna (ottobre 2004).
- [10] L. BARALDI – BARALDI LUBRIFICANTI, CASTEL SAN PIETRO, “Relazione tra la lubrificazione e lo stampo”, Dallo stampo alla qualità del pressocolato Università di Bologna (ottobre 2004).
- [11] ISVOR FIAT spa, TEKSID, “La pressocolata”, (2000).
- [12] ACHESON INDUSTRIES, “Istruzione di servizio DAG 1000 FCT” (luglio 1999).
- [13] B. MOLINAS, D. GIANTIN, C. RAONE, L. BARALDI, R. BONI, “Warm-Up Lube System (WULS)”, pp 27-32, La Metallurgia Italiana (febbraio 2007).
- [14] BUHLER DRUCKGUSS AG, “Il sistema di controllo della nuova generazione” (giugno 2005).
- [15] L. ANDREONI, C. BERETTA, “L’arte della pressocolata”, Kluber Lubrification Italia srl (aprile 1990).
- [16] M. CHECCACCI, “Fusione e mantenimento delle leghe di Al”, Giornata di Studio AIM (25 maggio 2005).
- [17] S. CONSOLI, “Il trattamento della lega tra la fusione e il mantenimento”, Giornata di Studio AIM (25 maggio 2005).
- [18] R. FERRARIO, M. ROSSO, P. VARESE, “Tecnologie di produzione di lega leggera secondaria per pressocolata”, Giornata di Studio AIM (25 maggio 2005).
- [19] M. ROSSO, S. GUELFO, “I difetti legati alla gestione della lega fusa e loro influenza sulla qualità del getto”, Giornata di Studio AIM (25 maggio 2005).
- [20] F. MIGLIERINA, “Contenitori e pistoni d’iniezione nella pressocolata”, Giornata di Studio AIM (25 maggio 2005). pp 111-124

- [21] A. D'ETTORRE, R. DUTTO, D. MADARO, F. MIGLIERINA, "Forno fusorio Flexifire® per la produzione di leghe di alluminio high quality", Convegno 60° anno AIM (22-23-24 novembre 2006). pp 33-36
- [22] AA.VV., Convegno 60° anni AIM (22-23-24 novembre 2006).
- [23] L. ANDREONI, M. CASÉ, G. POMESANO, "Qualità e conformità dei getti pressofusi", Quaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio, EDIMET (gennaio 1997).
- [24] L. ANDREONI, M. CASÉ, G. POMESANO, "Fenomeni chimico-fisici del processo di pressofusione", Quaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio, EDIMET (novembre 1994).
- [25] L. ANDREONI, M. CASÉ, G. POMESANO, "Il processo della pressofusione", Quaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio, EDIMET (maggio 1993).
- [26] A. ZIVI, F. CASAROTTO, "Silafont-36 the low iron ductile die casting alloy development and applications", pp 33-38, La Metallurgia Italiana (giugno 2007).
- [27] E. GARIBOLDI, F. BONOLLO, M. ROSSO "Proposal of a classification of defects of high-pressure diecast products", pp 39-46, La Metallurgia Italiana (giugno 2007).
- [28] BUHLER DRUCKGUSS AG, "Elettronica Idraulica Dataspeed Datamet" (dicembre 2004).
- [29] C. DEL GROSSO, "Comportamento del metallo, trattamento delle leghe fuse e scelta delle modalità operative", Giornata di studio sull'HPDC (maggio 2005).
- [30] W. NICODEMI, "Acciai e leghe non ferrose", ZANICHELLI
- [31] W. NICODEMI, "Metallurgia, principi generali", ZANICHELLI