

## 1. Introduzione

**1.1** L'aspetto metallurgico nei processi orafi è stato, soprattutto nel passato, trascurato, a favore di una maggior attenzione degli artigiani agli aspetti estetici e stilistici delle loro creazioni. Questo comporta quindi un approccio empirico e orientato alla minimizzazione dei costi nella preparazione dei getti, piuttosto che un approccio conscio di tutte le problematiche di un processo di fonderia e delle loro possibili soluzioni. E' necessario ricordare che la gran parte dei difetti presenti, infatti, è legata ad una sommaria progettazione dell'alimentazione, la quale è finalizzata a risparmiare risorse piuttosto che all'ottenimento di un oggetto privo di difetti.

Nella preparazione di un getto, invece, si dovrebbe tener conto di tutta una serie di aspetti cinetici, fluidodinamici e termodinamici che condizionano e caratterizzano le fasi di riempimento dello stampo e di solidificazione del fuso. Queste due fasi infatti sono fondamentali nell'economia globale del processo di microfusione e la loro corretta esecuzione garantisce la qualità finale degli oggetti microfusi.

## 2. Difetti tipici negli oggetti prodotti per microfusione

**2.1** Come prima cosa conviene analizzare tutti i difetti dovuti ad incorretta alimentazione che si possono riscontrare in un oggetto prodotto per microfusione in modo tale che, partendo dagli effetti, si possa poi risalire alle cause e di conseguenza alla maniera più corretta per affrontarle.

### 2.2 Porosità da ritiro

Le porosità da ritiro sono la principale manifestazione di un inappropriato sistema di alimentazione del getto. Infatti se il getto è progettato bene, questo tipo di difetto si presenta solo in appositi zone del materiale, inserite nel getto con

l'unico scopo di raccogliere tutti i problemi del getto stesso. Queste zone possono essere alimentatori, materozze, serbatoi.



Figura 1

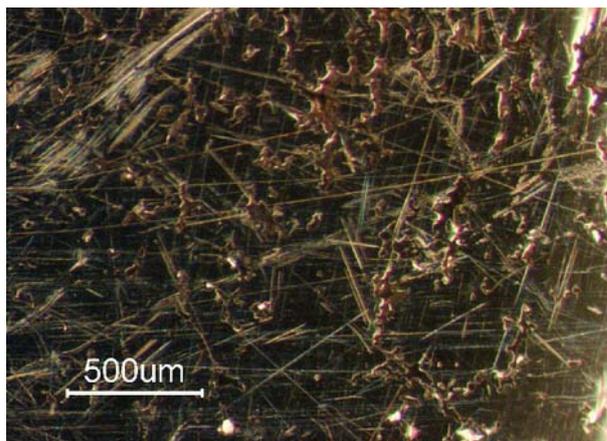
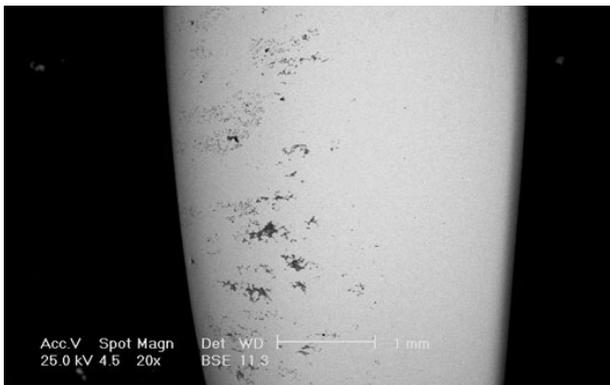
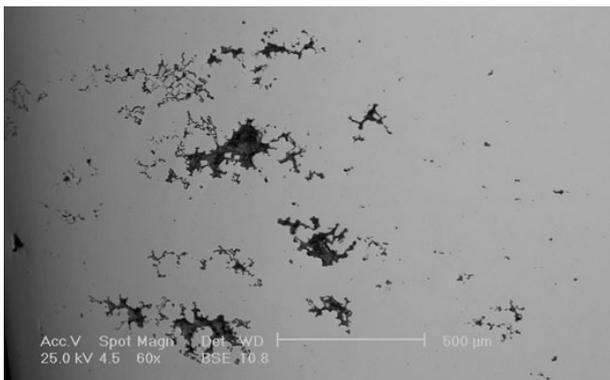


Figura 2

Come si può vedere da queste immagini la porosità da ritiro si può manifestare in qualunque tipo di pezzo. In particolar modo risultano critici pezzi massivi, pezzi con grandi superfici parallele, pezzi con variazioni di sezione importanti.

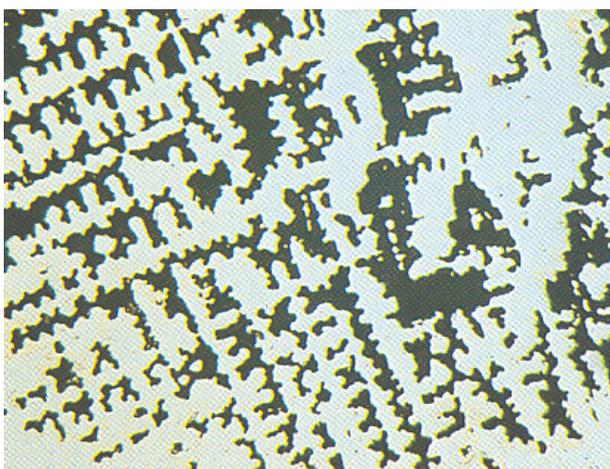


**Figura 3**



**Figura 4**

La morfologia è quella di agglomerati di cavità di forma tipicamente dendritica, concentrati nelle zone in cui questo problema è più sentito e che danno origine ad una struttura “spugnosa” del metallo. Nei casi più gravi questa struttura porosa, marcatamente dendritica, riduce drasticamente la resistenza meccanica a causa della diminuzione della sezione resistente, portando così il pezzo in condizioni prossime alla rottura.

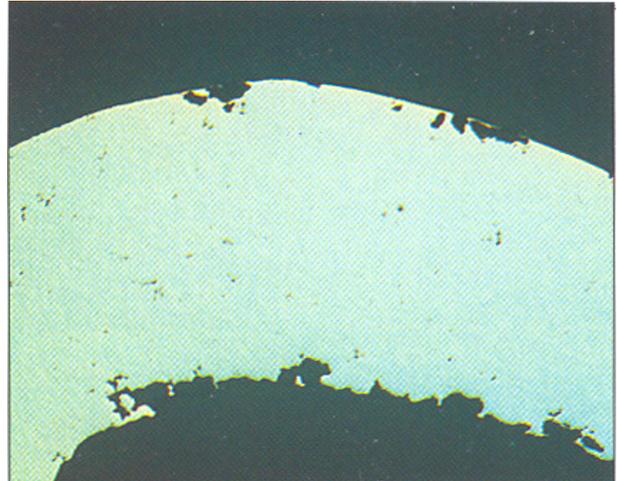


**Figura 5**

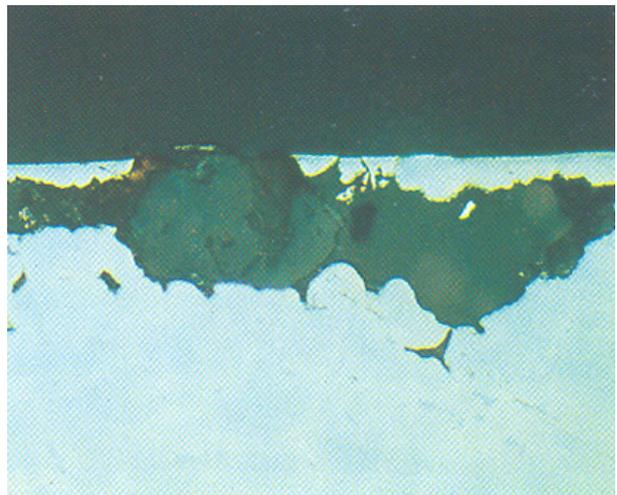
### 2.3 Inclusioni

Questo tipo di difetto è legato soprattutto alla realizzazione dello stampo, più che alla progettazione vera e propria, e si manifesta con inclusioni di materiale refrattario sulla superficie o all'interno

del metallo. I pori si presentano sparsi su tutta la superficie e possono essere vuoti o ancora pieni di materiale chiaramente non metallico. Molto probabilmente anche i pori, che in fase di analisi vuoti, erano in origine riempiti da inclusioni successivamente asportate durante le operazioni di trattamento della superficie, come decapaggio o lucidatura. Anzi, molto spesso tali operazioni, invece di risolvere il problema, lo amplificano, ingrandendo la dimensione dei pori.



**Figura 6**



**Figura 7**

Estremamente sensibile a questo tipo di difetto sono gli oggetti prodotti tramite colata centrifuga, in cui la forza esercitata sullo stampo è estremamente elevata. Chiaramente in gioco entra anche la qualità del refrattario, ma la forma che si è deciso di dare allo stampo gioca un ruolo determinante.

### 2.4 Porosità da gas

Le porosità da gas sono solitamente molto difficili da distinguere dalle porosità da ritiro: molto spesso i due fenomeni si manifestano con pori delle stesse dimensioni. Spesso l'unico discriminante è nella forma, più tondeggianti per quanto

riguarda la porosità da gas.

Questo tipo di difetto, sebbene molto frequente nei processi di microfusione a cera persa, è conseguenza di cattiva alimentazione del getto solo in casi estremi o particolari.

Le porosità da gas possono avere una duplice origine: o derivano da gas formati durante la reazione di decomposizione del gesso, oppure possono provenire da intrappolamento di gas dovuto ad eccessiva turbolenza. Nel primo caso risulta essere più critico un processo di colata in atmosfera controllata, viceversa il secondo caso è più frequente con colate in aria, soprattutto se effettuate a mano.

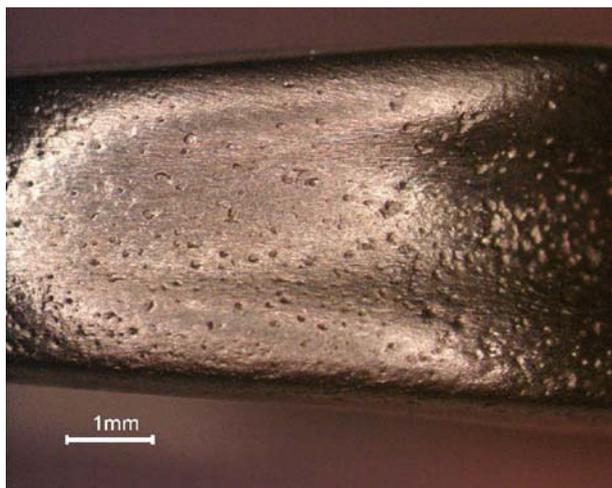


Figura 8

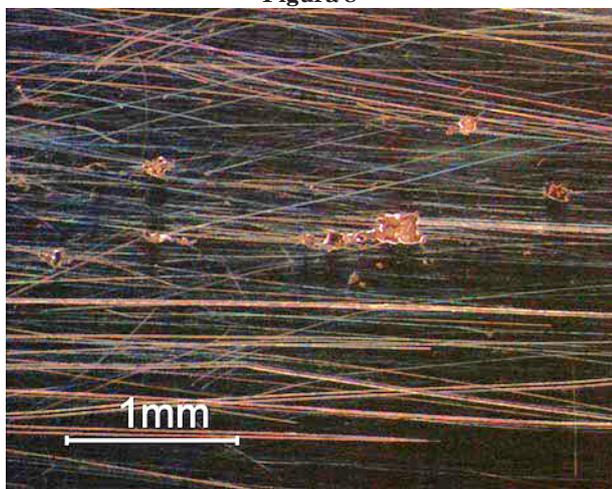


Figura 9

### 3. Cenni di teoria della fonderia metallurgica

**3.1** La teoria sui processi di fonderia è stata sviluppata principalmente per processi legati a getti di ghisa, ottoni e alluminio piuttosto che a processi legati al mondo orafa. In ogni caso comunque, gli stessi principi teorici valgono anche nel nostro campo.

Le due teorie guida che regolano la progettazione di un getto per fonderia riguardano, l'una i pro-

cessi fluidodinamici e l'altra i processi di scambio termico tra masse ad alta temperatura. In particolare, il moto di un fluido segue leggi descritte da Bernoulli e Reynolds, invece lo scambio termico è regolato da processi di conduzione termica. Non è opportuno in questa sede addentrarsi in eccessivi approfondimenti sulla teoria, ma sarà molto importante tenere nella dovuta considerazione tutta quella serie di regole pratiche scaturite da questi fondamenti che verranno tra poco illustrate.

Come premessa, è importante sottolineare che, a prima vista, un'adeguata alimentazione del getto sembra comportare un aumento dei costi di produzione, visto che nella maggior parte dei casi, si tratta di aumentare la quantità di materiale "spreco" in alimentatori, materozze, serbatoi. Il discorso, però, andrebbe visto con un'ottica più ampia.

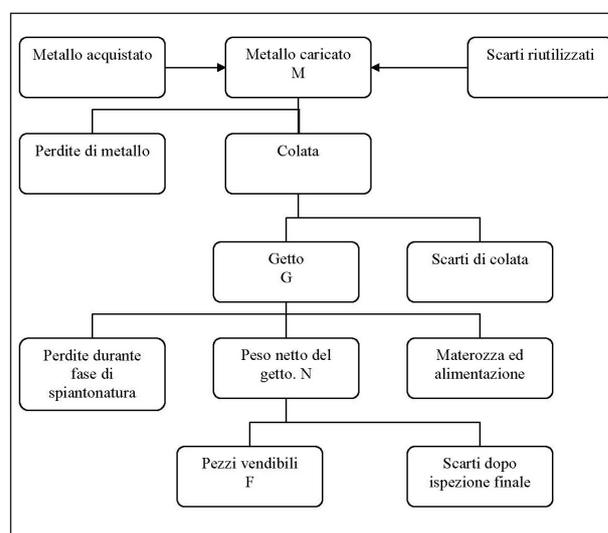


Figura 10

Definendo il rendimento globale del processo

$$R_{GLOBALE} = F/M$$

ed il rendimento del getto

$$R_{GETTO} = N/G$$

si può facilmente notare che una diminuzione del rendimento del getto (ovvero un aumento del materiale usato per il sistema di alimentazione), non incide automaticamente sul rendimento globale del processo produttivo e quindi non implica automaticamente una lievitazione dei costi di produzione. Anzi, molto spesso, avviene l'esatto opposto: un alberino con un rendimento basso aumenta le probabilità di scartare meno pezzi a causa di difetti tra i prodotti finiti. Di conseguenza, oltre ad un risparmio di denaro e materiale, si può ottenere anche un sensibile risparmio di tempo, non dovendo rifare pezzi scartati a causa di non

conformità Vediamo, dunque, da dove partire per ottimizzare la progettazione del getto.

### 3.2 Fluidodinamica

L'aspetto fluidodinamico coinvolge soprattutto la prima fase del processo di colata, ovvero quella in cui il metallo inizia a riempire lo stampo. In questa prima fase la richiesta primaria è che il flusso di metallo liquido abbia un moto laminare, o almeno non eccessivamente turbolento, in modo da evitare processi di erosione dello stampo e di inglobamento di materiale refrattario all'interno del metallo. Il moto di fluidi è descritto dalla leggi di Reynolds e Bernoulli. Queste due leggi mettono in correlazione velocità, portata, pressione, densità del metallo fuso e rugosità della superficie su cui scorre il fluido. Per ottenere però un flusso ideale all'interno del canale di alimentazione, bisognerebbe, o colare a velocità estremamente basse (improponibile sia per fattori economici sia a causa di solidificazione del metallo) oppure utilizzare alimentazioni di dimensioni ragguardevoli. La legge di Bernoulli regola anche la scelta del metallo sulla strada da percorrere. In presenza di una diramazione, infatti, il metallo sceglierà preferenzialmente la strada che comporta il minor dispendio di energia. Sfruttare questo fenomeno consente di creare, quindi, delle vie preferenziali di riempimento, utilizzando geometrie che comportino elevate perdite di energia nelle zone che si vuole vengano riempite per ultime.

Nelle pratiche di microfusione orafa è particolarmente difficile far svolgere questa fase in condizioni ideali. Raggiungere condizioni di moto laminare risulta pressoché impossibile considerati i parametri di processo. Fortunatamente la fase di riempimento non rappresenta comunque una fonte di eccessive preoccupazioni visto che, i difetti dovuti ad eccessive turbolenze rappresentano solo una bassissima percentuale di difetti nei processi di microfusione.

### 3.3 Scambio termico

Estremamente importante invece è lo studio dell'andamento della solidificazione del fuso, visto che a questo aspetto sono legati la maggior parte dei difetti presenti negli oggetti prodotti tramite microfusione.

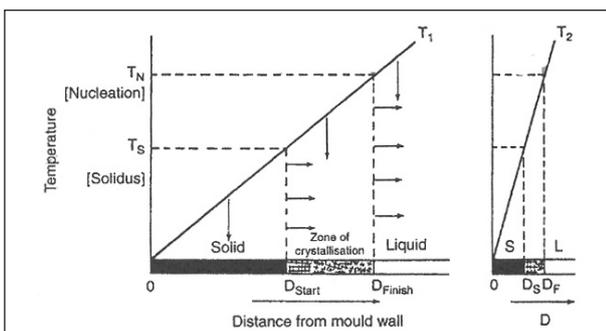


Figura 11 - Influenza del gradiente di temperatura e della composizione della lega sulla dimensione della "zona pastosa"

Bisogna dire innanzitutto che la solidificazione è regolata dalla cosiddetta "zona pastosa" (vedi figura 10). Dato che non si ha a che fare con metalli puri, la solidificazione non avviene ad una temperatura ben precisa, bensì in un intervallo tra le temperature di solidus e liquidus. Sul fronte di solidificazione dunque si forma una zona né solida né liquida, in cui iniziano a nucleare e a crescere i primi germi solidi. Durante la solidificazione possono venirsi a creare situazioni estremamente critiche per il materiale: dato che, come detto, si è in presenza di leghe di materiali e non di metalli puri, durante la solidificazione si hanno fenomeni di segregazione di alcuni elementi nel liquido che rimane attorno ai grani in formazione (Figura 11). Man mano quindi che il processo avanza, la zona pastosa potrà dunque avere una composizione che diventa più critica al procedere della solidificazione. Nel momento in cui si solidificherà anche l'ultimo liquido, questo sarà di una composizione estremamente differente a quella nominale e potrà dare luogo a difettosità dovute a fenomeni di macrosegregazione. L'obiettivo è quindi quello di far avvenire l'ultima solidificazione in zone in cui la presenza di porosità e segregazioni non causi problemi all'oggetto.

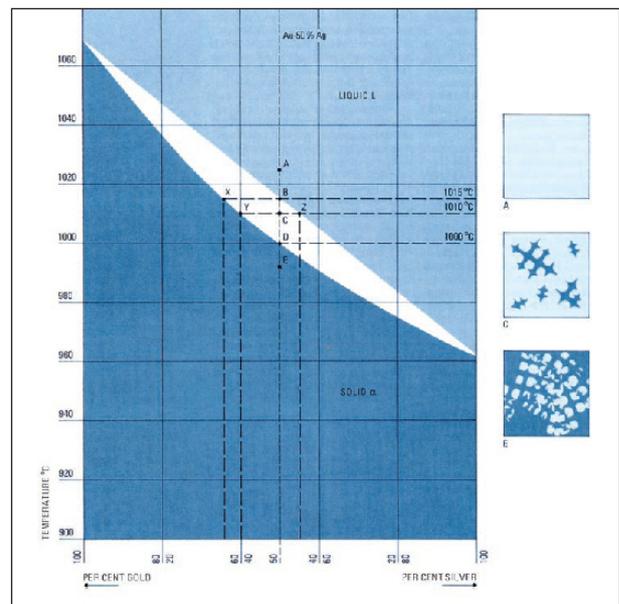


Figura 12

Un altro aspetto da considerare è quello del ritiro volumetrico dovuto alla solidificazione. La maggior parte dei materiali infatti diminuisce di volume al calare della temperatura, ed in particolare quando avviene il passaggio di fase da liquido a solido. Se il getto è correttamente alimentato, il ritiro di ogni singola porzione di materiale che solidifica è continuamente compensato dall'apporto di nuovo materiale fluido. Il fronte di solidificazione quindi, seguendo lo stesso percorso della zona pastosa, deve essere "condotto" in zone in cui esso

non dia fastidio nel momento in cui solidifica anche l'ultimo liquido. In questo istante infatti avere del ritiro sarà inevitabile. L'importante è che questo avvenga in zone in cui una contrazione del materiale non comporta problemi (né estetici né meccanici) all'oggetto.

Lo scambio termico è fondamentale nell'andamento di questi processi. Trascurando infatti il contributo dato da gradienti di concentrazione (assunzione che ci si può concedere solo in prima analisi), si può dire che la zona di solidificazione e la zona pastosa seguano l'andamento del gradiente termico, ovvero la solidificazione inizierà dalle zone con un sottoraffreddamento più elevato, spostandosi poi verso zone più calde.

Nel caso di oggetti di geometria semplice ed in getti per pezzi singoli, l'andamento del gradiente di temperatura è abbastanza prevedibile. Non si può dire lo stesso, invece, per quanto riguarda un normale alberino per microfusione. Vi sono infatti diversi fattori che influenzano l'andamento del gradiente termico.

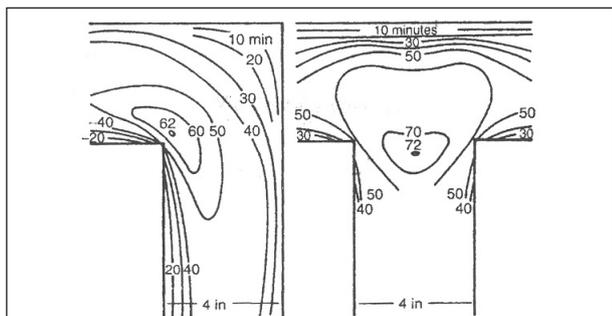


Figure 3.5 Effects of external and re-entrant corners on local rates of freezing: end of freeze waves after successive intervals (from Brandt et al<sup>60</sup>) (courtesy

**Figura 13 - Effetto degli spigoli sui gradienti di raffreddamento e onde di raffreddamento ad intervalli successivi**

Un primo esempio può essere la presenza di angoli o pezzi nelle vicinanze che, come si vede in figura 13, vanno a modificare le temperature all'interno dell'oggetto.

Un altro caso può essere dato da un'alta concentrazione di masse che va nuovamente a modificare l'andamento previsto del gradiente di temperatura. Di quest'ultimo aspetto si parlerà più approfonditamente nelle sezioni successive.

## 4. Principi per la corretta progettazione di un getto

### 4.1 Il modello

È il punto di partenza del processo di microfusione. Il modello può essere fatto a mano o usando le tecniche più moderne del cad cam (quest'ultima più veloce e più precisa). Solitamente viene fatto in metallo o in cera; il primo è pronto per essere

gommato; il secondo invece viene utilizzato come stampo per la preparazione del modello in metallo.

In entrambi i casi per la produzione del modello metallico, si suggerisce l'utilizzo di ottoni speciali da fusione (ad elevate caratteristiche meccaniche) che garantiscono pochi difetti da fusione e durezza anche molto elevate, caratteristica chiave per una buona finitura. Per migliorare ulteriormente la qualità superficiale del modello si può sottoporlo a processi galvanici di rodatura, ramatura o nichelatura. Un'elevata qualità superficiale del modello si rende indispensabile per evitare che difetti superficiali vengano riprodotti prima nei modelli in cera e successivamente nel getto causando difetti che, in sede di controllo qualità, potrebbero essere mal interpretati.

In secondo luogo partendo con uno stampo con un'adeguata finitura superficiale si evita di imprimere al fuso una qualità superficiale scadente.

Questa precauzione porta a due benefici:

- avere uno stampo con una bassa rugosità significa avere potenzialmente un oggetto con una buona qualità superficiale;
- un stampo con una buona qualità superficiale presenta un basso coefficiente di attrito consentendo al fluido di scorrere meglio evitando così eccessive turbolenze che causano, come visto in precedenza, problemi di erosione dello stampo e di inclusioni di gas e refrattario.

Da non dimenticare che la riproduzione di particolari estremamente fini è impossibile in mancanza di un'adeguata finitura superficiale.

In generale è raccomandata la progettazione e la realizzazione del modello sfruttando la tecnologia cad cam. In questo modo le dimensioni e le geometrie del modello sono definite e controllate già a partire dalla progettazione. Si evitano così problemi legati soprattutto all'omogeneità delle dimensioni delle varie sezioni, riproducendo così con fedeltà il modello previsto dal designer. È da sottolineare infatti l'importanza di avere spessori omogenei per evitare concentrazioni di difetti da ritiro in aree mal eseguite.

### 4.2 Sistema di alimentazione - Introduzione

Questo lavoro rappresenta una panoramica generale sulle regole da seguire per tutte le fasi di montaggio delle cere sugli alberini. Inoltre, vengono trattate anche delle regole basilari per il dimensionamento degli alimentatori, per la scelta del numero nonché della posizione degli stessi sugli oggetti.

Bisogna ricordare che la gran parte dei difetti presenti sugli oggetti microfusi è legata ad una sommaria progettazione dell'alimentatore, la quale è finalizzata a risparmiare tempo nel taglio dello stesso, o a risparmio di materiale, piuttosto che all'ottenimento di un oggetto privo di difetti da fusione.

Per tali ragioni, vorremmo convincere gli operatori a dare molta importanza ai punti che tratteremo.

#### 4.2.1 L'alimentatore

In italiano, purtroppo, non esiste una terminologia tecnica specifica per descrivere tutte le parti del sistema di alimentazione, bensì viene usato il generico termine di alimentatore, per qualunque volume atto a portare metallo fuso agli oggetti.. Per praticità in seguito si adotterà la terminologia inglese definita in figura 14.

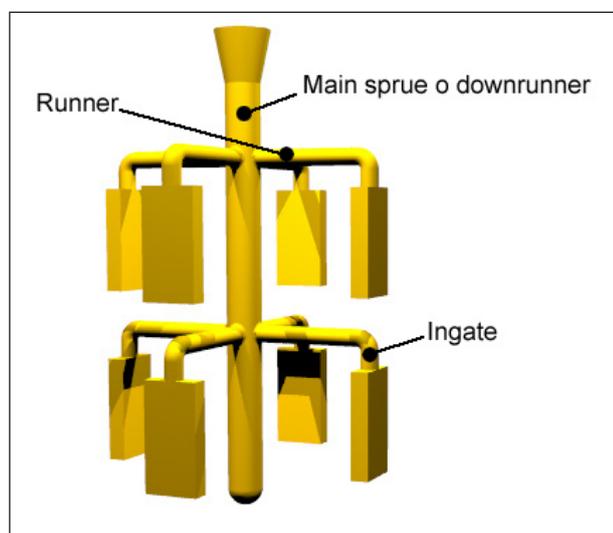


Figura 14

Per il dimensionamento di main sprue e runners, occorre stabilire il numero adatto a garantire la portata del metallo all'interno di tutti gli oggetti; in pratica, mentre solitamente il main sprue è uno solo, possono essere presenti al contempo vari runners. Un primo dimensionamento si può ottenere calcolando le portate di massa necessarie ad ottenere il riempimento del getto in funzione del tempo e della velocità del processo di fusione. In secondo luogo, anche la sezione dell'ingate deve essere adatta e rispettare il più possibile un rapporto di 1:1. Ovvero, le dimensioni della sezione dell'ingate dovrebbero essere pari alle dimensioni della sezione dell'oggetto su cui l'ingate è posizionato. Solitamente è consigliabile che tutti gli elementi del sistema di alimentazione abbiano una sezione circolare sia per ragioni fluidodinamiche che termodinamiche. Per quanto riguarda l'aspetto fluidodinamico, l'attrito è legato alla superficie e alla velocità; quindi, la sezione circolare per la stessa portata offre una superficie e un

attrito inferiori di qualunque altra sezione. Meno attrito ha il fluido, inferiore sarà la percentuale di turbolenza nel suo moto e conseguentemente si ridurrà la possibilità di avere porosità da gas o da inclusioni.

Per quello che riguarda, invece, l'aspetto termodinamico, le dimensioni dell'alimentazione devono essere sufficienti ad assicurare che il metallo fuso non "gelifichi" prima dell'avvenuto riempimento. Questo si può ottenere con delle dimensioni sufficientemente grandi sia per il main sprue che per runner ed ingate. Non da meno, la posizione è sempre un'aspetto molto importante per progettare un adeguato sistema di alimentazione.

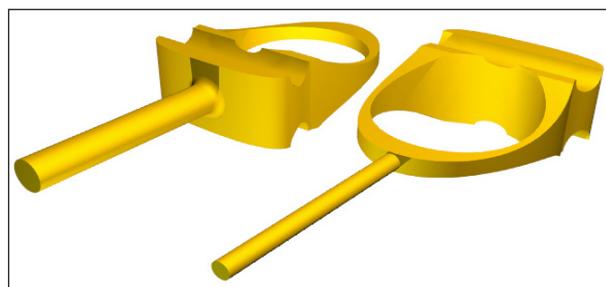


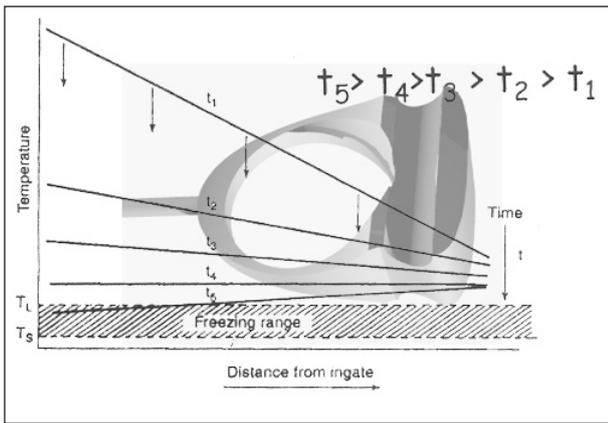
Figura 15

Come linea guida generale si può tenere quella di posizionare l'ingate sugli oggetti nelle zone più critiche per il riempimento, ovvero:

- in corrispondenza della parte più pesante dell'oggetto (dove è concentrata la massa più grande di metallo), (vedi figura 15);
- in corrispondenza di cambi di sezione, angoli pronunciati;
- in posizione che permetta di montare l'oggetto e di essere certi che quella zona sarà l'ultima a riempirsi ed a solidificare.

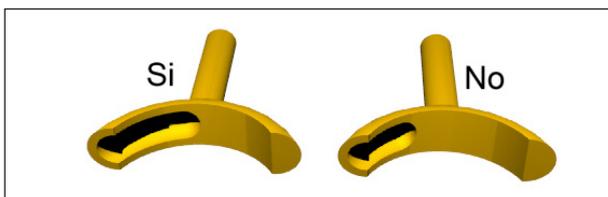
Quest'ultimo punto è di complicata soluzione. Se, infatti, per geometrie semplici, l'andamento del fronte di solidificazione è facilmente prevedibile, lo stesso non si può dire nel momento in cui si ha a che fare con pezzi che fanno del design la propria peculiarità.

Come già detto l'andamento del fronte di solidificazione segue il gradiente di temperatura. Nel caso però il getto presenti delle forme particolari, il gradiente di temperatura, che non è costante nel tempo, potrebbe assumere andamenti totalmente imprevisti. Tornando, ad esempio, al caso dell'oggetto con sensibili differenze di massa (figura 14), si può immaginare un andamento del gradiente di temperatura come illustrato nella figura seguente.



**Figura 16 – Variazione del gradiente di temperatura nel tempo**

La parte a destra della grafico soprastante (figura 16) corrisponde alla zona più massiva dell'anello. Appena colato il materiale, la temperatura massima si avrà in prossimità della parte vicina all'ingate visto che sarà facilitato uno scambio termico con la parte esterna del cilindro. Man mano però che il tempo passa, data la grande inerzia termica della parte massiva dell'oggetto in questione, si avrà un'inversione del gradiente termico. Come risultato si avrà che la parte che per prima arriverà a temperatura di inizio solidificazione sarà la parte vicina all'ingate, non, come invece succede nella maggior parte dei casi, la parte più esterna del pezzo. In un caso simile dunque, l'alimentazione verrà ostruita da materiale solido ancora prima che il pezzo sia completamente solidificato, portando, nella migliore delle ipotesi ad evidenti porosità da ritiro, sino ad arrivare, nei casi più gravi, a pezzi la cui forma non corrisponde esattamente allo stampo. Questo si può spiegare con il fatto che il materiale durante la solidificazione tenderà a contrarre. Per compensare la contrazione verrà continuamente richiamato altro metallo liquido dall'ingate. Se quest'ultimo, però, è già solido, non riuscirà ad apportare nuovo materiale e di conseguenza lo spazio vuoto dovuto alla contrazione rimarrà tale. A seconda della gravità del fenomeno si avranno quindi porosità o addirittura coni da ritiro sulla superficie dei pezzi.



**Figura 17**

Per quanto riguarda la posizione, procediamo con un ultimo esempio. Quasi sempre gli anelli presentano riduzioni significative di sezione (per ri-

durne il peso); osservando la figura 17, possiamo vedere benissimo che si tratta di un oggetto in cui la sezione subisce una strizione. E' lì che bisogna posizionare l'ingate? L'ideale sarebbe mettere un ingate prima e uno dopo la strizione stessa. Nel caso in cui l'ingate venga messo prima della strizione, sicuramente la parte stretta presenterà dei difetti da ritiro. In questo caso, si dovrebbe optare per posizionare l'ingate in asse, al fine di distribuire il metallo un po' da una parte e un po' dall'altra.

Una soluzione alternativa usata molto frequentemente è invece quella di alimentare uno stesso pezzo utilizzando un sistema di ingates multipli (vedi figura 18). Ogni ingate può essere posizionato in ognuna delle zone critiche, oppure ne vengono utilizzati più d'uno per migliorare il riempimento di pezzi dalla geometria particolarmente complicata.



**Figura 18 – Alimentazione a forcella**

#### 4.2.2 Saldatura cere

Il punto di saldatura è importante. Infatti, quando il metallo entra nel cilindro in presenza di un angolo acuto (di conseguenza di uno spigolo vivo, in quanto non c'è raggiatura), potrebbe rompere il gesso e dei frammenti potrebbero introdursi all'interno delle cavità di quelli che saranno poi i nostri oggetti. Questi detriti potrebbero causare difetti (ad esempio, dei buchi) che, ad occhio nudo, potrebbero essere confusi come porosità, spingendo l'operatore a correggere le condizioni operative di fusione (ad esempio, le temperature dei cilindri e del metallo), quando invece sarebbe stato sufficiente essere più attenti nel montaggio delle cere, cercando di far sì che i punti di contatto (si veda la figura 19), cioè quelli che formano un angolo acuto, siano invece raggiati.

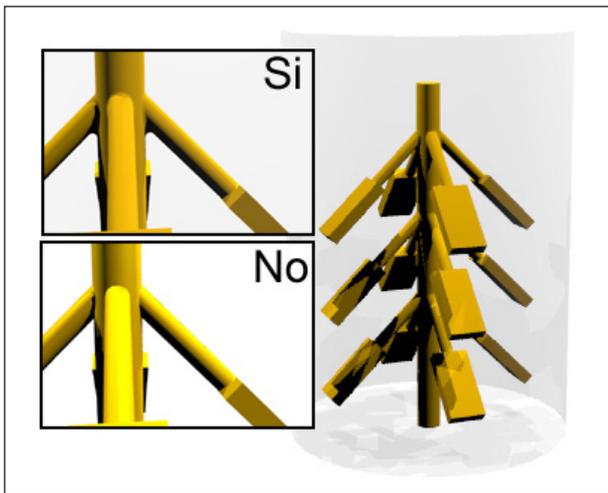


Figura 19

Riteniamo opportuno sottolineare che il fenomeno è molto più probabile nei sistemi di fusione dove la velocità di entrata del metallo è elevata e, di conseguenza, anche l'energia cinetica, è più elevata.

In particolare, per chi utilizza i sistemi centrifughi, questo è un punto molto delicato, in quanto aumenta la probabilità che un errore del genere possa causare dei difetti. D'altro canto, occorre sottolineare che la resistenza di questo punto dipende anche dalle caratteristiche meccaniche del gesso. E' opportuno quindi prestare particolare attenzione sia nella scelta della qualità del gesso sia nel ciclo di preparazione dello stesso. E' necessario dunque seguire le specifiche definite dal produttore per quanto riguarda le fasi di impasto e di calcinazione.

#### 4.2.3 Angolo di montaggio - Runners

Come si accennava in precedenza, l'angolo di montaggio dei runners influisce in maniera determinante sul riempimento degli oggetti. La posizione ideale, come si vede nella parte sinistra della figura 20, è quella che evita che il primo flusso di metallo, o una parte di esso, vada a riempire gli oggetti senza seguire il principio dei vasi comunicanti, ovvero che inizino a riempirsi anche gli oggetti più alti prima che il livello di metallo fuso nel main sprue arrivi alla loro quota. In caso contrario c'è il rischio che il riempimento degli oggetti più alti avvenga ad ondate e non con un flusso continuo di metallo fuso. Nell'oggetto raffigurato nell'immagine a destra della figura 20, il metallo potrebbe entrare e riempire parzialmente l'oggetto, mentre la seconda ondata di materiale fuso che riempirà completamente l'oggetto si unirà ad una parte già solidificata. In queste condizioni, è quasi certo che in quel punto si presenteranno dei difetti.

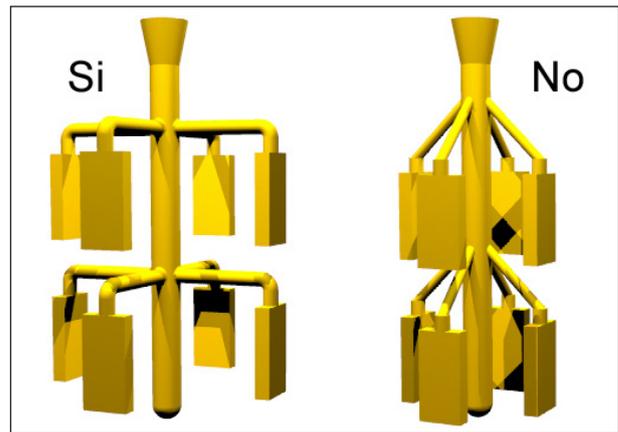


Figura 20

Considerando il fatto che, la probabilità che il metallo entri in un runner è inversamente proporzionale all'angolo tra quest'ultimo e il main sprue, per assicurarsi che ciò non avvenga, l'ideale sarebbe realizzare angoli di 90°. In questo modo, infatti, si massimizzano le perdite di carico del fluido che, di conseguenza difficilmente devierà dal canale principale durante la prima fase della colata. Un ulteriore miglioramento si potrebbe ottenere alimentando da sotto un oggetto, ma questa non è una pratica comune in oreficeria.

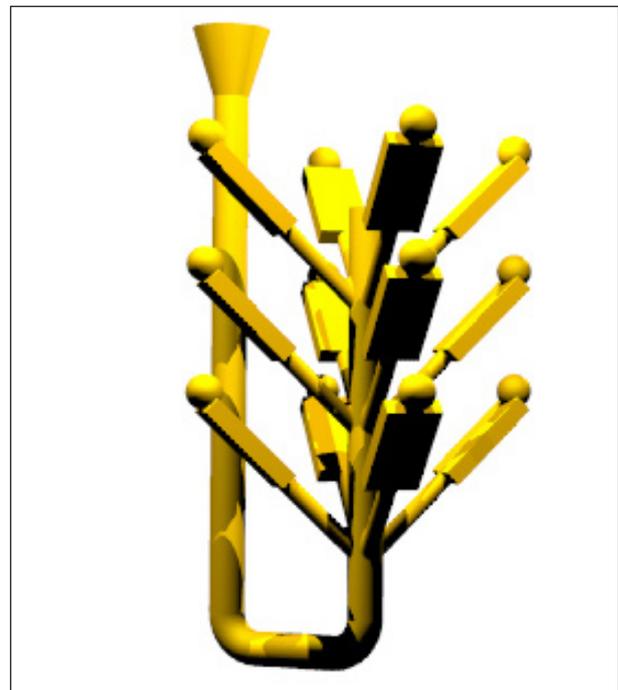


Figura 21

L'alimentazione da sotto (figura 21) porta a dei vantaggi come una scarsa erosione dello stampo ed un miglior riempimento. In condizioni simili, la turbolenza del metallo fuso sarebbe praticamente nulla. Per contro con questo tipo di alimentazione è molto più complicata l'analisi dell'andamento del gradiente di temperatura nel tempo, oltre a dare problemi di scoraggio della cera. Nonostante

te ciò, questa soluzione, potrebbe dare risultati eccellenti. Una soluzione, invece, più diffusa è quella raffigurata nella successiva immagine:

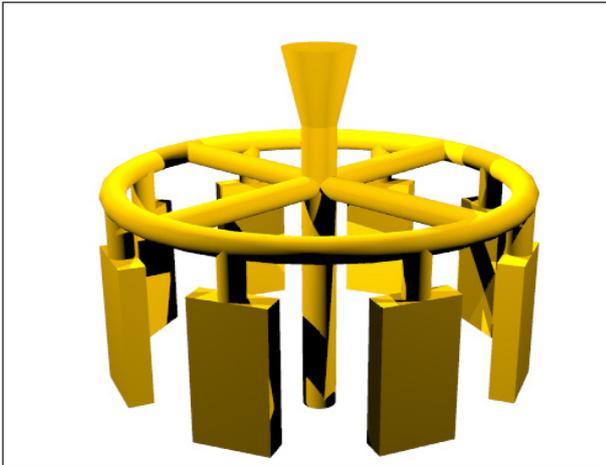


Figura 22

#### 4.2.4 Angolo di montaggio - Oggetti

Il montaggio degli oggetti può seguire in prima istanza un regola molto semplice. La proiezione dell'oggetto sul piano orizzontale deve essere più piccola possibile. Questa regola è un modo per riassumere un concetto di più ampio respiro. Prendiamo come esempio le medaglie in figura 23. Nel caso in cui essa sia montata in posizione orizzontale si ha una situazione illustrata in figura 24.

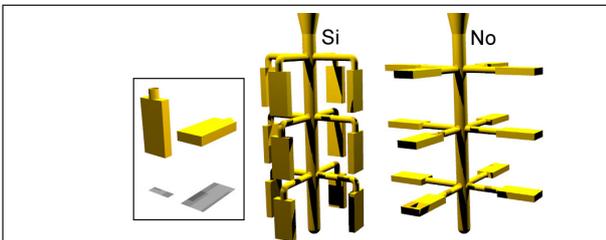


Figura 23

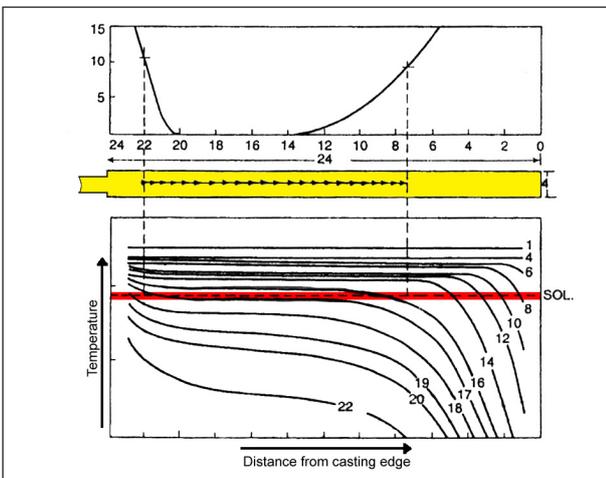


Figura 24 – Andamento gradiente di temperatura in una medaglia posta in orizzontale in funzione del tempo e della distanza dall'alimentatore

Le curve nella parte inferiore della figura mostrano l'andamento nel tempo del gradiente di temperatura. Si può notare che tra i 16 e 17 minuti una grossa parte della medaglia raggiunge la temperatura di solidificazione. Tutto questo materiale che contemporaneamente “gelifica” impedisce l'apporto di nuovo liquido a compensare la variazione di volume tipica di un passaggio liquido–solido. Di conseguenza sulla parte superiore si avrà evidente porosità se non addirittura un vero e proprio cono da ritiro. Se invece la medaglia viene montata in posizione verticale la porzione di metallo che solidifica contemporaneamente, sarà ristretta. L'apporto di nuovo metallo liquido non sarà dunque bloccato, ed eventuali ritiri verranno indirizzati in zone fuori dal pezzo. Un corollario, dunque, alla regola precedente potrebbe essere quello di posizionare superfici parallele ed ampie il più verticalmente possibile come appunto raffigurato in figura 23.

#### 4.2.5 Serbatoi o volani termici

Nel caso in cui non sia possibile o non si ritenga opportuno fornire l'oggetto di un'alimentazione che, da sola, prevenga il formarsi di difetti da ritiro, si può ricorrere a dei serbatoi da posizionare in diversi punti degli oggetti; questi serbatoi o volani non fanno altro che contenere una riserva di metallo per tutte quelle zone che non possono essere raggiunte dall'alimentatore, o che comunque presentano geometrie critiche.

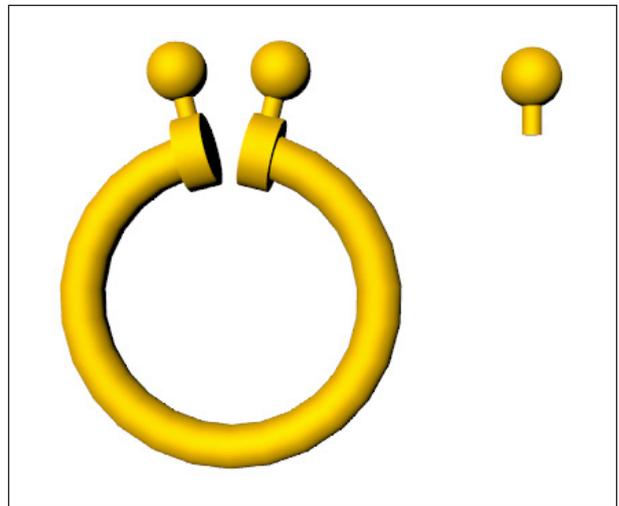


Figura 25

Questi volumi, oltre a essere serbatoi di materiale utilizzato per portare metallo anche durante la fase di solidificazione, possono essere utilizzati anche per supervisionare l'andamento delle temperature. Consentono infatti di tener calde più a lungo zone in cui si corre il rischio di avere solidificazione prematura.

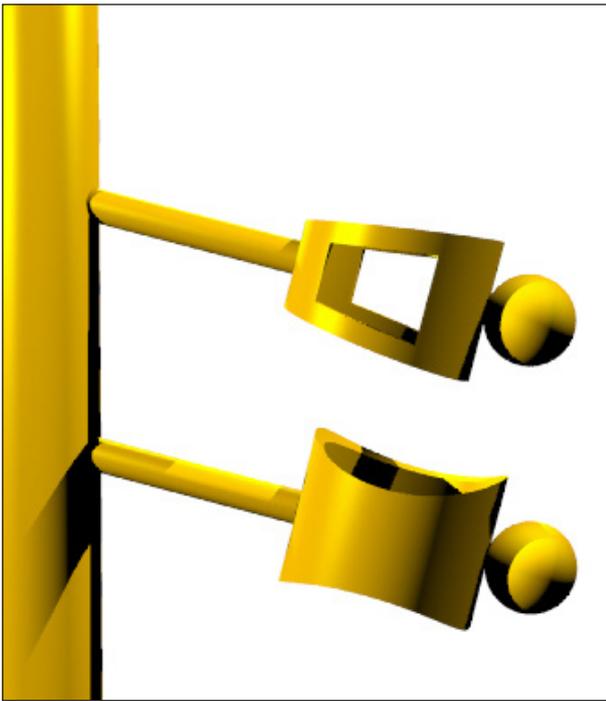


Figura 26

Questi piccoli serbatoi, come si vede in Figura 25 e 26, dovrebbero avere un ingate molto corto e una forma sferica (la sfera è infatti il solido che garantisce la minore dispersione di energia a parità di quantità di energia contenuta rispetto qualsiasi altro solido). Il serbatoio dovrebbe essere posizionato in quelle zone massive dove non è possibile arrivare con un ingate.

Diversamente, se ci trovassimo nella situazione in cui un oggetto a spessore costante presenta un foro o un'apertura dovuta alla forma o allo stile del modello, tutta la parte dell'oggetto posta a valle di questo foro si troverebbe penalizzata nella solidificazione. Infatti come si vede nella figura 26, le zone dove è presente il foro solidificherebbero prima a causa della quantità di metallo fuso (o massa) minore, con la conseguenza che la zona a valle potrebbe presentare dei difetti da ritiro. Anche in questo caso, l'utilizzo di un serbatoio in corrispondenza della zona critica, potrebbe aiutare a risolvere il problema

#### 4.2.6 Serbatoio e ingate insieme

Un altro modo per utilizzare il serbatoio, potrebbe essere quello di impiegarlo per evitare di montare un ingate di diametro troppo grande. Uno dei compiti dell'ingate è infatti quello di portare il metallo ai getti per riempirli. Non meno importante però è l'attività termodinamica svolta, che lo porta a rimanere liquido per tutto il periodo necessario all'oggetto per solidificarsi. Infatti dall'ingate (come già accennato in precedenza) viene risucchiato il metallo ancora fuso nel mo-

mento in cui l'ultima parte dell'oggetto solidifica e si contrae. Affinché ciò avvenga è necessario che l'ingate rimanga liquido fino alla solidificazione del pezzo. In molti casi, l'ingate, per poter rispondere a questi requisiti dovrebbe avere un diametro molto grande, e non sempre questa soluzione è apprezzata nelle realtà produttive in quanto è invasiva rispetto alla superficie dell'oggetto. Infatti, nel momento in cui si stacca il pezzo, l'area dove l'ingate era attaccato risulta essere rovinata. Più grande è questa zona e più difficile risulta riportare l'oggetto alla forma voluta. Di conseguenza il lavoro dell'orefice diventa molto più lungo.

Si potrebbe così optare per il montaggio di un serbatoio in modo tale che sia quest'ultimo a mantenere una temperatura necessaria a preservare l'ingate dalla solidificazione. In figura 27 è rappresentata questo tipo di pratica.



Figura 27

#### 4.2.7 Distanza tra gli oggetti

Nell'assemblaggio dell'alberino è consigliabile montare gli oggetti non troppo vicini gli uni agli altri, in quanto in moltissimi casi accade che degli oggetti presentino difetti su una sola faccia. Questo fatto dipende dall'influenza termica esercitata dall'oggetto vicino, che ne ritarda la solidificazione. In pratica, gli oggetti tra di loro si influenzano per quello che è il tempo di solidificazione, il quale non è solo legato alla forma dell'oggetto, ma dipende anche dal fatto che la quantità di refrattario che li divide è inferiore e sottoposta a temperature più elevate, dato che la massa di metallo contenuta nel cilindro è molto più alta. Questo crea, sostanzialmente, una grande confusione per quel che riguarda il tempo di solidificazione e

le gerarchie di solidificazione dell'oggetto stesso. Infatti, essi non dipendono più solamente dalla forma dell'oggetto (cioè da tutti i calcoli fatti, dalle considerazioni fatte per il numero di alimentatori, dalla posizione di alimentatori etc.), ma si interpone un'ulteriore variabile rappresentata dall'influenza che gli oggetti vicini tra loro hanno sulla solidificazione. Perciò, tutto il lavoro di progettazione fatto a monte viene meno e ci si trova nella situazione di avere oggetti con difetti quasi sempre dovuti alla contrazione, cioè al ritiro, nonostante sulla carta il progetto del sistema di alimentazione sia corretto.

Sicuramente sarebbe opportuno posizionare meno oggetti possibili nel cilindro in modo tale che questi abbiano sufficiente spazio tra di loro. Tuttavia, questo fa diminuire la capacità produttiva e, come tutti i processi che mirano all'ottenimento della qualità assoluta, il costo tende ad aumentare. Per diminuire il più possibile l'influenza termica bisognerebbe montare gli oggetti sufficientemente distanti tra loro. Ovvero ad una distanza tale che non ci sia uno scambio termico disomogeneo ed alterato tra i vari pezzi del getto. Non ci sono regole generali dato che la distanza è da scegliere in funzione delle dimensioni e della geometria del pezzo. Ad esempio in figura 28 una distanza di 10 mm potrebbe risultare sufficiente.

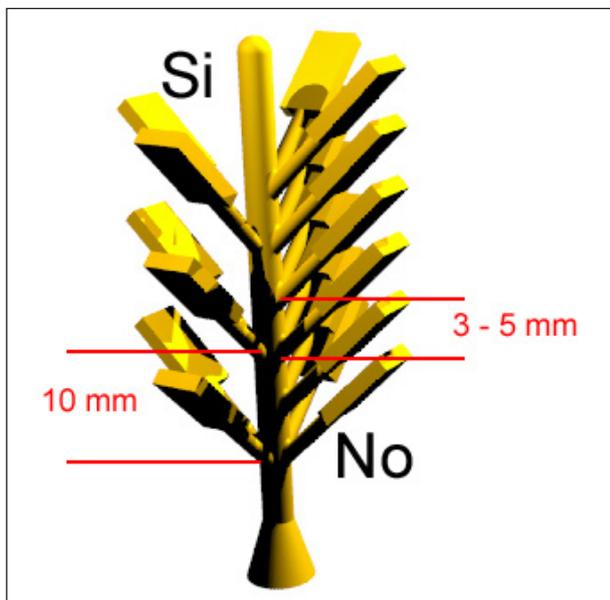


Figura 28

#### 4.2.8 Distanza dalle estremità

Un'altra cosa importante è la distanza tra l'estremità dell'ingate e la materozza (parte finale).

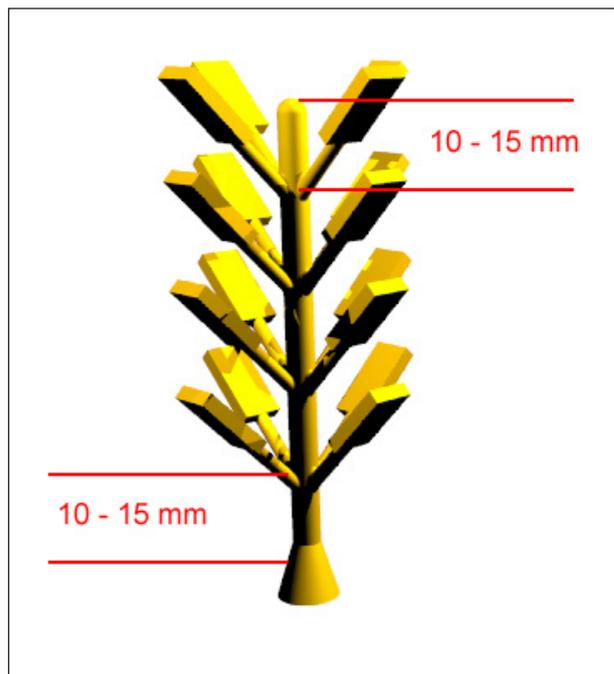


Figura 29

Questa potrebbe essere stimata tra i 10 ed i 15 mm (Figura 29).

Dovrebbe inoltre essere delle stesse dimensioni anche la distanza tra l'ultimo pezzo e l'estremità dell'alberino. Questo, al fine di limitare l'effetto delle turbolenze generate dal flusso del metallo liquido che, arrivato alla fine del main sprue, inizia a riempirlo.

Il risultato che si ottiene è la riduzione delle inclusioni e delle turbolenze per quanto riguarda l'estremità dell'alberino, mentre per quanto riguarda la materozza diminuiscono l'influenza termica e i difetti da ritiro ad essa concatenati.

## 5. Conclusioni

**5.1** Abbiamo presentato una carrellata di esempi su come progettare e costruire alberini e sistemi di alimentazione.

Non abbiamo come obiettivo quello di dare delle leggi assolute su come si deve procedere, ma cerchiamo di indirizzare gli operatori del settore a considerare nel lavoro quotidiano i punti che abbiamo affrontato assieme. Sicuramente i calcoli da fare per posizione, numero e sezione degli alimentatori sarebbero molto più complessi e non giustificerebbero il costo di progettazione: i pezzi prodotti nel campo orafa non hanno una tiratura elevata, perciò basta considerare i suggerimenti di base per poter procedere bene ed ottimizzare i costi della propria produzione.

Se si va a vedere statisticamente come si comporta la maggior parte delle aziende, si può notare benissimo che raramente vengono seguiti tutti questi esempi basilari di comportamento nel montaggio dell'alberino, nell'architettura dello

stesso e nella dimensionamento degli alimentatori. Spesso tali aziende sostengono che i loro oggetti non presentano difetti e che non hanno problemi di questo tipo

Sicuramente, per il tipo di oggetto in questione sono riuscite a trovare un equilibrio perché, nonostante un'architettura di montaggio di un albero non ottimale e gli alimentatori non posizionati correttamente o sottodimensionati, ottengono dei risultati buoni.

Questo si verifica quando le aziende riescono a trovare il proprio equilibrio personalizzando tutta una serie di variabili (forma dell'oggetto, condizioni di esercizio, cioè temperatura del metallo e del cilindro, dimensione del cilindro, diametro del cilindro, gesso utilizzato, macchina utilizzata) così da raggiungere risultati soddisfacenti.

In ogni caso acquistando materie prime, madreleghe e macchinari di elevata qualità e seguendo le regole teoriche di cui è stato discusso finora, ci si metterebbe nella posizione di avere un ciclo di lavoro più stabile e più solido non solo su un determinato oggetto, bensì anche nel caso si volesse diversificare la produzione.

Lo scopo del nostro studio è proprio questo. Sicuramente una persona molto esperta, pur non avendo alimentatori corretti e pur non rispettando alcuno dei principi menzionati, riuscirebbe ad ottenere risultati discreti, ma non in modo stabile e costante come rispettando tali principi.

Il nostro obiettivo è quello di diffondere il più possibile un bagaglio di conoscenze per far crescere qualitativamente il settore orafico non dimenticando, per questo, anche i benefici economici che ne conseguirebbero.