Fusione

4 PROCEDIMENTI DI FABBRICAZIONE PER FUSIONE

4.1 GENERALITA'

La fabbricazione ~~per fusione~~ per fusione rappresenta una delle tecniche più antiche e **versatili** per la realizzazione di greggi destinati alle lavorazioni per asportazione di truciolo. La tecnica fusoria consiste nei seguenti passaggi: si prepara una cavità ("*forma*") che ricopia al negativo il pezzo che si desidera realizzare; dentro a questa si cola la lega scelta per il pezzo allo stato fuso; avvenuta la solidificazione dalla forma si estrae il *greggio di fusione*.

I metodi di preparazione della forma ("*formatura*") si distinguono in:

a) **Metodo in forma transitoria** → ogni forma può essere usata per una sola colata e viene distrutta dopo aver estratto il greggio
b) **Metodo in forma permanente** (o in conchiglia) → la forma viene progettata per essere utilizzata per un numero elevato di colate

La tecnica fusoria è versatile perché permette di realizzare sia produzioni in serie sia produzioni di pochi esemplari; permette di colare quasi tutte le leghe e si possono realizzare sia pezzi di forma semplice che complessa.

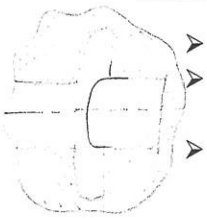
4.2 PROGETTAZIONE DI MODELLI E ANIME

4.2.1 GENERALITA'

I procedimenti di formatura in forma transitoria hanno in comune il fatto che utilizzano un modello e una o più anime. Il modello genera nella forma le superfici corrispondenti a quelle esterne del greggio mentre le anime creano le cavità previste dal progetto. È importante scegliere il materiale da formatura con le opportune caratteristiche tecnologiche, il quale è contenuto in apposite staffe o nel pavimento della fonderia o autoportante. Le anime invece sono realizzate tramite altre forme: casse d'anima, costituite dallo stesso materiale della forma. Altri dispositivi necessari per la riuscita del getto sono: il sistema di colata che permette l'ingresso della lega fusa nella forma e la materozza che compensa il ritiro del getto durante la solidificazione.

4.2.2a SOLUZIONE DEI SOTTOSQUADRI

Il primo problema che si presenta nello studio del ciclo di fusione in forma transitoria è la scelta del piano di divisione delle staffe o delle due parti della forma. Infatti dopo che il modello ha permesso la costruzione della forma deve poter essere estratto senza danneggiarla. Le parti del modello che danneggerebbero la forma durante l'estrazione sono in *sottosquadro* (o *controsformo*). La soluzione a questo problema può essere esaminare le possibili soluzioni di scelta del piano di divisione del modello opportune. Se non ci sono soluzioni posso usare i seguenti metodi descritti in ordine di costo crescente:

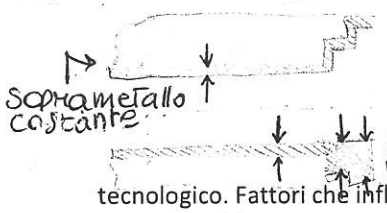


- Modifica del progetto: il progettista apporta modifiche conservando la funzionalità prevista
- Tasselli vengono preparati separatamente e sono come delle anime montate a sbalzo nella forma; vengono inseriti nelle cavità ottenute prevedendo idonee portate d'anima sul modello.
- Modello scomponibile: consiste nel realizzare la parte in sottosqaudro del modello mobile rispetto al resto del modello. Durante la sformatura la seconda parte si estrae normalmente mentre la prima rimasta dentro la forma viene estratta delicatamente e manualmente dal formatore.



4.2.2b SOPRAMETALLI

I procedimenti di fusione non permettono di ottenere superfici con grandi qualità macro o micro geometriche per questo deve essere ottenuta grazie alle lavorazioni successive per asportazione di truciolo. Le superfici che verranno sottoposte a questo tipo di operazioni devono avere uno spessore di materiale chiamato soprametallo. L'entità di quest'ultima è un compromesso sia di carattere economico che





tecnologico. Fattori che influenzano lo spessore del soprametallo: dimensioni del pezzo, il tipo di lega con cui realizzo il pezzo, la qualità della superficie lavorata, il tipo di formatura.

I due casi che possono presentarsi sono: soprametallo variabile per semplificare la costruzione di un'anima o soprametallo costante per regolare lo spessore di un getto e favorire la solidificazione direzionale.

L'importante valutazione tecnico economica che va fatta riguarda i fori di piccole dimensioni. Dobbiamo valutare se conviene realizzarli perfusione con idoneo sopra metallo o realizzarli interamente alle macchine utensili. Il diametro delle anime è di pochi mm nel caso di forma permanente e 10-15 nel caso di formatura in terra con staffe.

4.2.2c ANGOLI DI SFORMO E RAGGI DI RACCORDO

x ridurre sup ⊥ al piano di divisione
x eliminare spigoli vivi

Per agevolare l'estrazione dei modelli è importante eliminare o ridurre al minimo le superfici perpendicolari al piano di divisione. Si ottiene questo inclinando queste superfici di un piccolo angolo chiamato **angolo di sformo**. In questo modo si evita che durante l'estrazione del modello la superficie trascini via il materiale di formatura. I valori degli angoli di sformo sono tabellati ma questi valori possono essere ridotti o diminuendo l'entità del soprametallo o verniciando i modelli in legno o usando modelli metallici o appositi lubrificanti. L'angolo di sformo dipende dal materiale di formatura. È importante prevedere questi angoli anche sulla conchiglia (procedimento in forma permanente) così da facilitare l'uscita del pezzo solidificato e l'estrazione delle anime.

Modelli legno 1-2°, metallici 30'

Gli spigoli vivi devono essere eliminati grazie ai **raggi di raccordo**. Nelle forme transitorie gli spigoli vivi della forma o delle anime non resisterebbero all' azione erosiva della Lega che fluisce nella forma. Nelle forme permanenti (soprattutto per colata sotto pressione) gli spigoli vivi della forma rappresenterebbero delle zone di concentrazione di tensioni derivanti dalle sollecitazioni termiche e meccaniche a cui la conchiglia è sottoposta durante la colata.

Spigoli vivi < FORME TRANSITORIE: non resisterebbero all'azione erosiva della lega
FORME PERMANENTI: zone di concentrazione delle tensioni

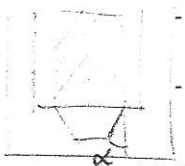
4.2.2d PORTATE D'ANIMA

Rappresentano le idonee sedi di appoggio di anime e/o tasselli presenti per risolvere sottosquadri.



- Nel caso di anime con asse parallelo al piano di separazione delle semiforme le portate si fanno di forma cilindrica e la loro lunghezza deve far sì che l'anima eserciti sulla forma una pressione specifica inferiore della pressione massima ammissibile dal materiale di formatura.

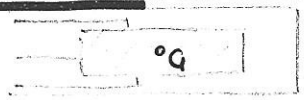
P specifica < P max



- Nel caso di anima con asse perpendicolare al piano di separazione delle semiforme le portate si fanno di forma tronco conica, ovvero con un ampio angolo di sformo (ramolaggio).

angoli di sformo: 10°-12°

- Nel caso di anima o tassello a sbalzo va prolungata la portata d'anima per fare in modo che il baricentro dell'anima cada nella zona di appoggio.



4.2.2e RITIRO

Nell'intervallo compreso tra la temperatura di colata e quella ambiente le leghe usate in fonderia subiscono una contrazione volumetrica. In questo modo il getto risulta di dimensioni inferiori rispetto a quelle della forma. Quindi la forma deve essere di dimensioni maggiorate rispetto a quelle finali desiderate del greggio. Questa maggiorazione si prevede sul modello considerando un coefficiente di ritiro lineare medio.

4.2.3 MODELLI DA FONDERIA

CONTRAZIONE VOL.
T colata → T amb

Le caratteristiche che un buon modello da fonderia deve avere sono:

- **Funzionalità**: la funzionalità del modello prevede che questo venga verniciato, se in legno, con colorazioni dipendenti dalla lega di colata e dalla presenza di superfici che subiranno lavorazioni successive.
- **Precisione**: il modello deve rispettare quote e tolleranze indicate sul disegno costruttivo. Alla base della qualità del modello c'è un'idonea scelta del materiale e una buona tecnica costruttiva.

PDF

master COPY

- **Durata**: se l'intenzione è quella di costruire un modello per la produzione di serie dobbiamo realizzarlo in modo che conservi le sue caratteristiche nel tempo. Cosa non necessaria nel caso di *modelli a perdere* (usati per una sola formatura). → in cera e polistirolo



I materiali utilizzati per la costruzione di modelli sono:

Modelli
- Legno → economico, facilmente lavorabile ma sensibile all' umidità
- Leghe metalliche → usate nella produzione di serie e per modelli di piccole e medie dimensioni
- Materie plastiche → facilmente lavorabili e non sensibili all' umidità
- Cera e polistirolo → usati per i modelli a perdere

Nel caso di produzione in serie di getti di piccola e media dimensione il sistema più usato è quello della placca-modello.

4.2.4 ANIME DA FONDERIA

Dato che sono avvolte completamente da metallo liquido sono costituite da materiali refrattario. Per la buona riuscita della colata le anime devono avere le seguenti caratteristiche:

A SSICURATA PERCHÉ LE ANIME SONO IN METALLO

- **Resistenza meccanica** di fronte ai carichi cui sono soggette durante la colata (peso proprio e spinta di Archimede) o durante operazioni di inserimento nella forma e di trasporto. E' importante evitare che l'anima durante la colata si infletta e provochi differenze di spessore. Se il materiale di formatura dell'anima non garantisce rigidezza flessionale vengono inserite nella struttura dell'anima apposite armature in materiale metallico le quali possono avere forme e dimensioni variabili.

NON CI INTERESSA PERCHÈ LA CONCHIGLIA HA CANALIZZAZIONI

- **Permeabilità:** permette un deflusso dei prodotti gassosi caldi che si formano durante la colata nel corpo dell'anima stessa. Se questo deflusso non viene assicurato è probabile che si formino soffiature nel getto, ovvero bolle piene di gas. Spesso la struttura dell'anima e il suo materiale non garantiscono una sufficiente permeabilità quindi è necessario prevedere delle canalizzazioni durante la costruzione dell'anima. Nel caso fossero presenti nella struttura portante dell'anima stessa parliamo di *lanterne*.

NON SODDISFATTO QUINDI LA CONCHIGLIA VA PRERISCALDATA

- **Cedevolezza** durante il ritiro così da evitare tensioni residue nel getto: nel caso di formatura transitoria questa caratteristica è assicurata dalla porosità del materiale di formatura.

NON HA SENSO PERCHÈ LE ANIME METALLICHE SONO ESTRATTE MECCANICAMENTE

- **Sgretolabilità:** rende rapida e agevole l'estrazione dal getto di staffato del materiale costituente l'anima. Nelle forme transitorie questa caratteristica è assicurata da additivi nel materiale di formatura.

dopo il raffreddamento

Nel caso di forme permanenti la resistenza meccanica è assicurata dato che le anime sono realizzate in metallo. La permeabilità non ci interessa dato che il deflusso dei prodotti gassosi caldi avviene grazie alle canalizzazioni presenti nella conchiglia. La cedevolezza non è soddisfatta per cui occorrono precauzioni come il preriscaldamento della conchiglia. La sgretolabilità non ha senso in questo caso visto che le anime metalliche sono estratte meccanicamente grazie agli angoli di sformo presenti.

Le modalità costruttive delle anime sono:

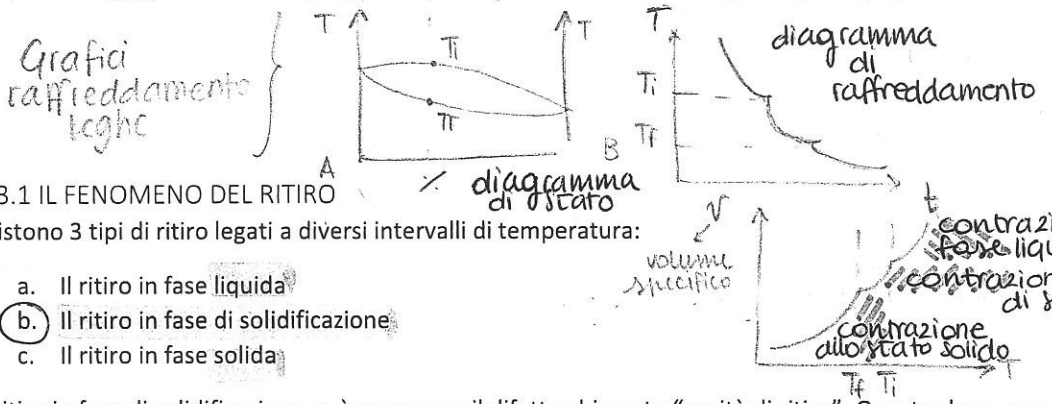
in legno o materiale metallico → 2 MATRICI CAVE → hanno pareti di spessore variabile un negativo

- Cassa d'anima: metodo più comune con il quale si va a comprimere (manualmente o ad aria) il materiale di formatura in un contenitore che rappresenta il negativo la forma dell'anima.
- Tornitura: metodo adatto per anime di forma di rivoluzione con grandi dimensioni. Il vantaggio sta nell'economicità e nel rispetto delle caratteristiche di permeabilità e resistenza meccanica.

Rispettate: RH e P

4.3 SOLIDIFICAZIONE DEI GETTI

È necessario studiare i problemi legati alla solidificazione di una lega in una forma.

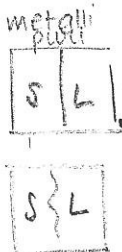


4.3.1 IL FENOMENO DEL RITIRO

Esistono 3 tipi di ritiro legati a diversi intervalli di temperatura:

a. Il ritiro in fase liquida
b. Il ritiro in fase di solidificazione
c. Il ritiro in fase solida

cavità di ritiro ← b.



Il ritiro in fase di solidificazione può provocare il difetto chiamato "cavità di ritiro". Questo deve essere evitato perché nella maggior parte dei casi provoca lo scarto del getto. Nei metalli puri la superficie di separazione liquido-solido è molto regolare. Le leghe invece solidificano con la formazione di strutture dendritiche che si prolungano crescendo all'interno del getto dalla zona a contatto con la forma più fredda. L'ampiezza della zona dendritica è minore nel caso di leghe con limitato intervallo di solidificazione e nel caso di colata in forma metallica, ovvero nel caso in cui è alto il coefficiente di scambio termico. Quest'ultimo infatti limita la velocità di accrescimento dei dendriti favorendo invece la formazione di molti grani solidificati. Effetti della struttura dendritica:

↑ zona dendritica ↓ coeff. di scambio termico
↓ zona dendritica ↑ coeff. di scambio termico

- Fenomeno del cono di ritiro
- Porosità interdendritica: contrazione volumetrica uniformemente distribuita in una zona del getto, spesso interna e quindi invisibile a prima vista

4.3.2 LA VELOCITA' DI SOLIDIFICAZIONE

MODULO DI RAFFREDDAMENTO elemento importante nello studio della velocità di solidificazione di un getto. Maggiore è il modulo maggiore sarà il tempo di solidificazione. A parità di volume, una maggiore superficie di scambio termico accelera il raffreddamento.

cubo $M = \frac{S^3}{2S^2} = \frac{S}{2}$

$$M = \frac{V}{S}$$

V: volume del getto. S: superficie del getto.



SPESSORE DELLO STRATO SOLIDIFICATO [cm]:

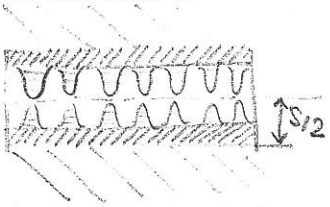
$$x = k\sqrt{T}$$

T[s]: intervallo di tempo in cui lo spessore dello strato solidifica. k: costante funzione della lega e del materiale che costituisce la forma (esempio: per colate in terra di acciaio k=0,0885).

Consideriamo ad esempio la solidificazione di una piastra di spessore S. La solidificazione si può ritenere terminata quando x è pari a metà dello spessore quindi quando i dendriti hanno raggiunto metà dello spessore. Il tempo di solidificazione della piastra è proporzionale al quadrato del suo modulo di raffreddamento.

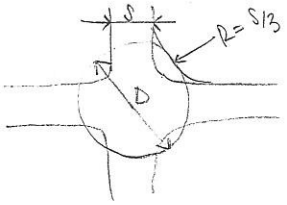
T termina quando $x = S/2 = M$

$$T = \left(\frac{x}{k}\right)^2 = \left(\frac{M}{k}\right)^2 = \frac{1}{k^2}M^2$$



A pag. 126 formule dei moduli di raffreddamento di figure solide elementari.

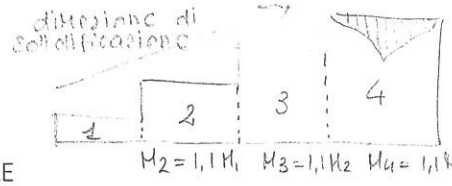
Caso particolare: determinazione del modulo di raffreddamento di una zona di intersezione di pareti. Le zone di raccordo tra pareti del getto, o nervature, sono zone ad elevata concentrazione termica (hanno un modulo maggiore delle pareti stesse). Per valutare il modulo di queste zone si tracciano dei raccordi tra le pareti concorrenti con R=S/3. Poi si traccia un cerchio tangente ai raccordi e il modulo sarà pari a quello di una barra o di una piastra avente spessore uguale al diametro del cerchio.



Raccordo tra piastre: $M = D/2$

Raccordo tra barre di spessore S: $M = \frac{D \cdot S}{2(D+S)}$

master COPY



Metallo liquido e materozza in contatto ⇒ getto sano!

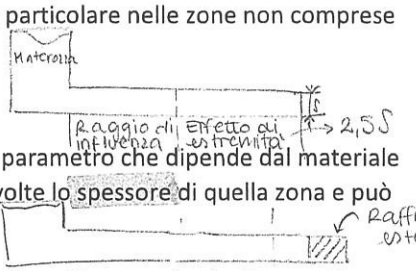
4.3.3 SOLIDIFICAZIONE DIREZIONALE

Si tratta di una tipologia di solidificazione del getto. Il getto solidifica iniziando dal gradino più basso che ha modulo minore del successivo; quando questo quindi solidifica il successivo alimenta le sue cavità di ritiro con metallo ancora liquido. Avviene questo per ogni gradino e il suo successivo. Il processo termina nell'ultimo gradino, il quale, non essendo alimentato presenta cavità di ritiro che rendono il pezzo non accettabile. Soluzione: impiego di materozze che, se ben dimensionate e posizionate, contengono la cavità di ritiro globale del getto. Una volta fatto il loro lavoro vengono asportate.

La solidificazione direzionale (dalle parti con modulo più basso a quelle con modulo più alto) richiede la presenza di un gradiente termico. I moduli degli scalini che susseguono i loro precedenti devono essere superiori almeno del 10%.

Se le zone di estremità e la materozza sono sempre in contatto attraverso metallo liquido allora il getto è sano. Se invece rimangono separate da dendriti solidificate si formano cavità di ritiro nelle sezioni isolate dalla materozza. Questo succede per getti di grandi dimensioni ed in particolare nelle zone non comprese dal raggio di influenza della materozza.

$$R = k * S$$



S: spessore medio del getto nella zona di attacco della materozza. k: parametro che dipende dal materiale del pezzo (esempio 3,5-5 per acciaio). L'effetto d'estremità vale 2,5 volte lo spessore di quella zona e può essere aumentato di 50mm inserendo dei raffreddatori esterni.

Solidificazione direzionale → in sintesi assicura l'assenza di cavità di ritiro attraverso lo studio corretto dell'andamento degli spessori nel getto e il posizionamento delle materozze in relazione alle zone di estremità inserendo raffreddatori. Vedi esempio pag.130

4.3.4 MATEROZZA E SUO DIMENSIONAMENTO

Serbatoio di metallo che contiene liquido fino a che il getto non solidifica e che è in grado di alimentare le cavità di ritiro. L'elemento che spinge il metallo liquido dalla materozza nel getto è la pressione atmosferica. È fondamentale quindi, che la pressione atmosferica possa agire liberamente sulla superficie del metallo liquido contenuto nella materozza, esistono 2 tipi di materozza:

- **A cielo aperto**: affiora sulla parte superiore della forma; il contatto con la pressione atmosferica in questo caso viene realizzato a volte attraverso l'agitazione del liquido contenuto (compaggio della materozza) oppure aumentando il contenuto termico grazie al ricoprimento con polveri esotermiche.
- **Cieca**: totalmente immersa nella forma; il contatto con la pressione atmosferica in questo caso viene realizzato inserendo nella parte alta della materozza una punta di materiale poroso oppure facendo una punta in terra da fonderia. Lo scarso potere disperdente della punta rallenta il raffreddamento e la solidificazione in quella zona. La cavità di ritiro che si forma nella materozza resta sempre in contatto con l'atmosfera attraverso la punta porosa.

Quale scegliere? Dipende dalla posizione che deve assumere nella forma.

$M_m = 1,2 M_{getto}$

Abbiamo visto che il modulo di raffreddamento della materozza deve essere 1,2 il modulo del getto così da essere uguale a quest'ultima quando la solidificazione è terminata; questo perché la cavità di ritiro nella materozza produce una riduzione del volume iniziale ma un aumento della superficie di scambio termico. Il suo modulo durante la solidificazione è il 17% di quello originale. Inoltre il cono di ritiro non deve arrivare al getto! Si impone che la sua profondità massima sia l'80% dell'altezza della materozza. Con questa profondità massima il cono di ritiro occupa il volume della materozza pari a circa 14-20%.

Cavità di ritiro nella materozza ⇒ $\downarrow V_i \uparrow S$

